

해양한국발전프로그램(KSGP)연구개발사업

연 구 보 고 서

외해수중양식 기술개발에 관한 연구

- 외해양식시설의 설계·건설·관리 -

Technical System Development for Responsible Offshore Aquaculture

- Design, Construction and Management System-

2004. 5. 13

부경대학(교) SG연구사업단

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부장관 귀하

본 보고서를 “외해수증양식 기술개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 5월 13일

대학(교)명 : 부경대학교
사업단장 : 김 동 수
연구팀장 : 류 청 로
 윤 길 수
 김 현 태
 이 인 철

요 약 문

I. 과 제 명

외해수증양식 기술개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구의 필요성

- 양식산업의 연안역 집중에 따른 해역의 생태환경학적 문제 및 어장 환경적 문제를 근원적으로 해결할 대안의 필요성 증대.
- 연안역의 생태환경 및 어장환경기능의 복원으로 건강한 바다에서 건강한 연안수산자원을 증강하고, 부족분의 수산식품을 청정외해공간에서 공급할 수 있는 새로운 수산양식산업패러다임의 구축이 요구됨.

2. 연구의 목적

- 외해 수증양식을 위한 시설의 설계·건설 및 관리를 최적화하기 위한 종합적 연구·개발 시스템의 개념 정립 및 기본 설계.
- 한국의 해역 특성 및 외력환경특성을 고려한 외해수증양식시설의 적지선정기술 기본 설계.
- 미국 등 선진국 선행연구자들과의 공동연구 활성화 및 외국의 실험역 연구의 결과를 활용·개발하여 초기 한국형 외해수증가두리양식시스템 구축·운용을 통한 R/D 기획.

III. 연구개발 내용 및 범위

외해수증양식시설의 설계·건설·관리 기술개발을 위해서 아래의 그림과 같이 연구개발 목표의 달성을 이루었으며, 세부적으로

- 적지선정을 위한 우리나라해역의 수산공학적 특징과 적용성을 검토
 - 광역의 적지선정기술과 현장조사를 통한 협의의 적지선정
 - 광역의 적지검토를 통해 동해안과 남해안 제주의 적용성을 확인
 - 협의의 현장조사를 통해 대상해역의 지형에 따른 외해수증양식시설의 적지 특성을 파랑, 흐름 그리고 수질(수온, 염분)을 통해 확인
- 적정설계외력 결정을 위한 대상해역의 설계파랑 및 설계유속의 산정을 실시

- 50년 설계파랑에 대한 대상해역의 설계파랑 산정
- 연안의 유동장 계산을 통한 설계흐름 산정
- 외해수증양식시설의 관리 및 생산성향상을 위한 기술
 - 환경모니터링
 - 가두리 모니터링 기술
 - 자동급이기술
- 수산선진국과의 공동연구 및 인적교류
 - 한미외해양식기술협의회를 통한 미국 NOAA측과의 공동연구
 - SST3000의 수리학적 특성 및 한국 적용성

IV. 연구개발결과 및 활용계획

1. 연구개발결과

외해수증양식시설의 설계·건설·관리 기술개발을 위해서 아래의 그림과 같이 연구개발 목표의 달성을 이루었으며, 세부적으로

- 적지선정을 위한 우리나라해역의 수산공학적 특징과 적용성을 검토
 - 광역의 적지선정기술과 현장조사를 통한 협의의 적지선정
 - 광역의 적지검토를 통해 동해안과 남해안 제주의 적용성을 확인
 - 협의의 현장조사를 통해 대상해역의 지형에 따른 외해수증양식시설의 적지 특성을 파랑, 흐름 그리고 수질(수온, 염분)을 통해 확인
- 적정설계외력 결정을 위한 대상해역의 설계파랑 및 설계유속의 산정을 실시
 - 50년 설계파랑에 대한 대상해역의 설계파랑 산정
 - 연안의 유동장 계산을 통한 설계흐름 산정
- 외해수증양식시설의 관리 및 생산성향상을 위한 기술
 - 환경모니터링
 - 가두리 모니터링 기술
 - 자동급이기술
- 수산선진국과의 공동연구 및 인적교류
 - 한미외해양식기술협의회를 통한 미국 NOAA측과의 공동연구
 - SST3000의 수리학적 특성 및 한국 적용성

2. 활용계획

본 연구의 개발결과는 기존 항만설계기준과 어항설계기준을 확장하여 수산시설의 설계

에 필요한 외력의 산정기술을 제공하며, 현장조사를 통한 더욱 공학적이고, 종합적인 수산시설의 설계기법으로서 응용될 수 있을 것이며, 외력 산정기술과 국제 공동연구자료를 응용한 한국형 외해수증양식시설 설계기술 까지 확장하고자 한다.

금번 연구를 통해 배출된 석·박사 전문가와의 지속적인 연구 성과 공유 및 전문가양성을 통해 한국형 외해수증양식 기술의 정착을 위한 인력양성을 계속해 나갈 것이다.

또한 향후 전 해역에 대한 심해설계파 제원의 재평가를 통해 천해 설계파의 재평가가 이루어 질 것이며, 이러한 수산시설의 설계외력을 위한 중요한 기초 자료가 될 것이다.

V. 기대효과

본 연구는 한국의 외해양식기술 개발을 위한 기초적인 연구이며, 본 연구에서 수행된 한국 근해의 해역특성을 고려한 외해양식시설의 설계인자 산정 및 검토는 향후 외해수증양식시스템 및 시설의 통합관리를 향한 기초적인 기술이 될 것이며, 건강한 바다에서 생산하는 건강한 수산물을 이용한 청정 수산물생산시스템의 새로운 패러다임을 제공하는 기초가 될 것이다.

S U M M A R Y

Under the base of the efficient control/management and utilization of marine eco-system, checked and reviewed the optimization of the system of clean high quality production as well as the sustainable development and environmental conservation. And it was proposed the direction and the new paradigm of the technical concepts for the introduction and a development of offshore aquaculture system combined with integrated marine management system. It is emphasized that the integrated system must cover the production by the aquaculture in the land, bay and coasted zone and offshore area as well as the natural resources and eco-system control functions.

The objective of the study is to check the application criteria of the conventional techniques and to clarify the effects of outer forces on the stability in relation to the effects of uncertainty of design, construction and management. To get the goal the following study steps are considered:

- 1) Collect the suitable location for offshore aquaculture through the field surveying(Jeju, Gangeolgot).
- 2) Oceanographic observation and evaluation physicochemical properties of the coastal waters in the candidate sites : currents, waves, temperature, salinity, turbidity, eco-environmental factors, etc.
- 3) Pick up the problems in application of the methods to the design under the review of several reports on the failures and field monitoring at the site.
- 4) Development of system design Concept for reasonable offshore aquaculture system.
- 5) Selection of candidate species for offshore aquaculture in the Korean waters.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction.....	11
1. Background.....	11
2. Purpose.....	12
3. Progress.....	13
Chapter 2. Present state.....	14
Chapter 3. Offshore Aquaculture system.....	16
1. Basic concept for development of offshore aquaculture system.....	16
2. Basic data for development of offshore aquaculture system.....	23
3. Field Observation for collecting suitable location....	42
4. Definition of design factor.....	52
5. Calculation of design factor(wave, current, Wimi).....	66
6. Management of Offshore aquaculture system.....	90
7. US-Korea Cooperative Research	99
8. Conclusion & Remark.....	103
Chapter 4. Achievements of purpose.....	104
Chapter 5. Apply of results.....	106
Chapter 6. References.....	107
Appendix	

목 차

제1장. 서 론.....	11
1절 연구의 배경.....	11
2절 연구의 목적.....	12
3절 연구추진경과.....	13
제2장 국내외 연구개발 현황.....	14
제3장 연구개발 수행내용 및 결과.....	16
1절 외해수증양식시스템 개발의 기본개념.....	16
2절 외해수증양식시스템 설계요소 -물리환경-.....	23
3절 적지선정을 위한 현장조사.....	42
4절 외해수증양식시설의 설계.....	52
5절 설계외력의 산정 예(파랑, 흐름).....	66
6절 외해수증양식시설의 관리기술.....	90
7절 한·미 공동연구.....	99
8절 요약 및 결론.....	103
제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도.....	104
제5장 연구개발 결과의 활용계획.....	106
제6장 참고문헌.....	107
부 록	

List of Figures

Fig. 1. Problems of coastal aquaculture in Korea.....	11
Fig. 2. The paradigm of offshore underwater aquaculture system development.....	12
Fig. 3. Paradigm Shift.....	12
Fig. 4. Fixed offshore aquaculture system.....	15
Fig. 5. Underwater offshore aquaculture system.....	15
Fig. 6. Sustainable integrated coastal zone management.....	17
Fig. 7. Integrated marine space management.....	17
Fig. 8. Basic concept of offshore aquaculture system development.....	19
Fig. 9. Range of Research.....	19
Fig. 10. Large/long scale feasibility system analysis considering various Socio- Eco-Environmental and Fisheries factors.....	21
Fig. 11. Design of offshore aquaculture system.....	21
Fig. 12. Design procedure of offshore aquaculture system.....	22
Fig. 13. Problems for development of offshore aquaculture system.....	24
Fig. 14. Distribution of salinity and temperature around the Korea(NFRDI).....	26
Fig. 15. Routes of Typhoon.....	31
Fig. 16. Currents around the Korea.....	34
Fig. 17. A schematic diagram of ocean circulation in the East-Sea.....	35
Fig. 18. Distribution of currents at each depth(2002. 2, Depth = 20 m, 50 m,100 m)..	36
Fig. 19. Distribution of currents at each depth(2002. 4, Depth = 20 m, 50 m,100 m)..	37
Fig. 20. Distribution of currents at each depth(2002. 6, Depth = 20 m, 50 m,100 m)..	38
Fig. 21. Distribution of currents at each depth(2002. 8, Depth = 20 m, 50 m,100 m)..	39
Fig. 22. Distribution of currents at each depth(2002. 10, Depth = 20 m, 50 m,100 m).	40
Fig. 23. Distribution of currents at each depth(2002. 12, Depth = 20 m, 50 m,100 m).	41
Fig. 24. Routes of Typhoons around the suitable locations.....	43
Fig. 25. Design factors around suitable locations.....	44
Fig. 26. Characteristics of design parameters.....	45
Fig. 27. Comparison of Environmental Conditions.....	45
Fig. 28. Field Observation sites(Wimi).....	46
Fig. 29. Spatial characteristics of wave.....	47
Fig. 30. Wave characteristics.(Jeju Wimi, 2002).....	48

Fig. 31. Sectional distribution of Temp. and Sal. Between Both candidate locations (Wimi, 2003).....	49
Fig. 32. Sectional current profile.....	50
Fig. 33. Tidal ellipse at each layer.....	51
Fig. 34. Floating tracer observation(Jeju wimi, 2003. 9. 16).....	51
Fig. 35. Flow of shallow wave calculation.....	57
Fig. 36. Study flow.....	59
Fig. 37. Calculated point of design waves in the deep water	67
Fig. 38. Calculated area(Wimi, Dir.= S, SSE).....	69
Fig. 39. Calculated area (Wimi, S).....	73
Fig. 40. Distribution of wave vectors(Wimi, S).....	74
Fig. 41. Distribution of wave height(Wimi, S).....	75
Fig. 42. Calculated area (Wimi, SSE).....	77
Fig. 43. Distribution of wave vectors(Wimi, SSE, $H_{1/3}=10.1m$).....	78
Fig. 44. Distribution of wave heights(Wimi, SSE, $H_{1/3}=10.8m$).....	79
Fig. 45. Distribution of wave vectors(Wimi, SSE, $H_{1/3}=10.1m$).....	80
Fig. 46. Distribution of wave heights(Wimi, SSE, $H_{1/3}=10.8m$).....	81
Fig. 47. Flow of calculation for tidal currents.....	83
Fig. 48. Calculated boundary.....	85
Fig. 49. Calibration of calculated water level.....	86
Fig. 50. Distribution of flood current vectors(spring tide).....	88
Fig. 51. Distribution of ebb current vectors(spring tide).....	89
Fig. 52. Distribution of flood current vectors(neap tide).....	90
Fig. 53. Distribution of Ebb tide current vectors(neap tide).....	91
Fig. 54. Distribution of current vectors(tidal residual current).....	92
Fig. 55. Auto feeder for offshore aquaculture system.....	98
Fig. 56. Co-work and foundation of Sea-Grant project.....	100
Fig. 57. Foundation for development of offshore aquaculture system.....	100
Fig. 58. SST3000(OST).....	103
Fig. 59. Tow test result comparison(Physical model, Numerical model, Field Tow).....	104
Fig. 60. Numerical model test shaded element(Shaded element, 80% Shaded element, 90% Shaded element, Field tow).....	104
Fig. 61. Korea Offshore Aquaculture TEchnical research Center(KOATEC).....	105
Fig. 62. Achievement of research.....	108

List of Tables

Table 1. Magnitude of Typhoon with radius(KMA, 1904~2003).....	28
Table 2. Magnitude of Typhoon with maximum wind speed(KMA, 1904~2003).....	29
Table 3. Monthly reveal number of Typhoon in Korea(KMA, 1904~2003).....	29
Table 4. Monthly reveal number of Typhoon routes in Korea(KMA, 1904~2003)...	30
Table 5. Reveal percentage of Typhoon with routes in Korea(KMA, 1904~2003).	30
Table 6. Supposition of each wave equations.....	64
Table 7. Theoretical range of each models.....	65
Table 8. Deep water wave(Wimi).....	68
Table 9. Wave modeling conditions(S).....	72
Table 10. Wave modeling conditions(SSE).....	76
Table 11. Calculation of tidal current.....	79
Table 12. Open boundary conditions.....	81
Table 13. Input conditions for calculation.....	81

제1장. 서론

1절 연구의 배경

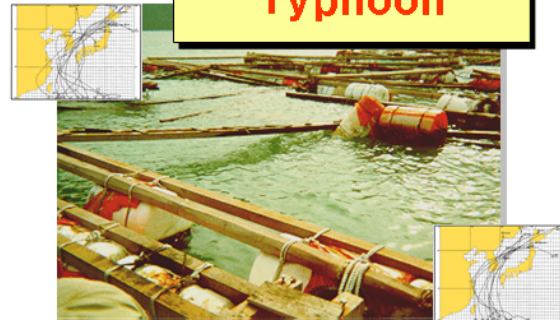
- 양식산업의 연안역 집중에 따른 해역의 생태환경학적 문제 및 어장 환경적 문제를 근원적으로 해결할 대안의 필요성 증대.
- 연안역의 생태환경 및 어장환경기능의 복원으로 건강한 바다에서 건강한 연안 수산자원을 증강하고, 부족분의 수산식품을 청정외해공간에서 공급할 수 있는 새로운 수산양식산업패러다임의 구축이 요구됨.
- 환경문제 유발지역, 환경오염심화지역 또는 질병환경에 노출된 연안역 중심의 해면양식에서 청정외해공간을 이용한 종합적인 어류양식 산업의 재배치 정책을 지원하기 위한 기술적 과제의 해결이 요구됨.

Problem of aquaculture in Korea

Environment



Typhoon



Red tides



Fig. 1. Problems of coastal aquaculture in Korea.

2절 연구의 목적

- 외해 수증양식을 위한 시설의 설계·건설 및 관리를 위한 종합적 연구·개발 시스템의 개념 정립 및 기본 설계.
- 한국의 해역 특성 및 외력환경특성을 고려한 외해수증양식시설의 적지선정기술 기본 설계.
- 연안역 수산자원 관리의 새로운 패러다임으로서의 외해수증양식 관리.
- 미국 등 선진국 선행연구자들과의 공동연구 활성화 및 외국의 실패역 연구의 결과를 활용·개발하여 초기 한국형 외해수증가두리양식시스템 구축·운용을 통한 R/D 기획.

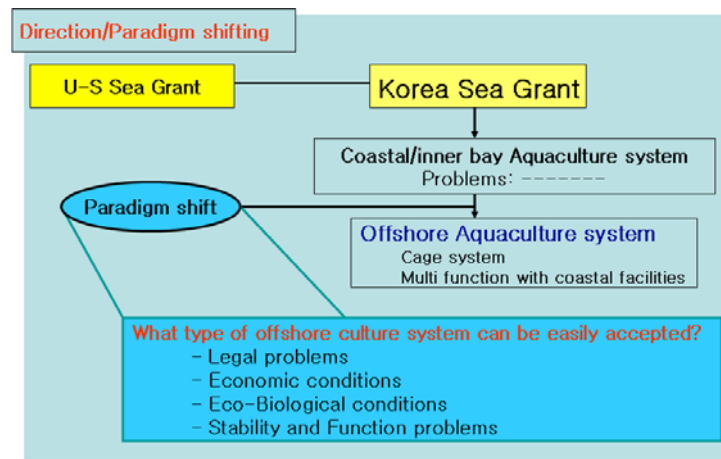


Fig. 2. The paradigm of offshore underwater aquaculture system development.

Paradigm Shift

- 연안수질-저질오염 질병환경에서 청정 자연환경의 양식산업으로 개편
 - 환경적으로 허용가능 한 최소한의 연안양식만 허용
 - 수산자원 수요량은 외해양식을 통해 확보
- 연안의 수질환경정화기능 및 생태환경기능 회복을 통한 자연생태기능 및 연안수산자원 생산기능의 효율화/극대화
- 외해양식기술과 수산물 축양시스템의 연계를 통한 유통시장의 체계화: 생산-공급시스템 구축
- 기술문제: 국제 개방형 산학연(관) 공동체의 구축을 통한 정책 기술개발 및 새로운 패러다임의 확산을 통한 신기술산업화의 유도 및 해양문화 창달
- 해양공간의 효율적·다목적 이용: 해역별 기능강화
- 식생활문화의 확대 및 전환 - 육류 기인성 질병의 극복 대안(서구)

Fig. 3. Paradigm Shift.

3절 연구추진경과

- 2002. 4 : 제1회 한미양식협의회 개최 (국립수산과학원)
- 2002. 10 : 한미 양식개발 협의회 참석 (미국 하와이 대학교, 미: 31명, 한: 9명) 7일간 전문가 그룹에 의한 연구개발 추진전략 및 일정 협약
- 2002. 12 : 1차 외해수증양식개발을 위한 전문가 그룹협의회 (국립수산과학원: 한국 내 전문가와의 추진전략 회의)
- 2002. 12 : FOID 2002 개최- 국내외 해양생태환경 전문가 초청 특별 세미나 (부경대학교 해양산업개발연구소)
- 2003. 3 : 2차 외해수증양식개발을 위한 전문가 그룹협의회 (Langley Gace(미국), 국립수산과학원)
- 2003. 4 : KSGP 지원사업 2개 분야 (기획과제, 자유공모과제) 선정 (해양수산부)
- 2003. 4 : 한-미 외해양식기술 실무자 협의회 (국립수산과학원, 부경대학교)
- 2003. 4 : SeaGrant 주관 연구소 구성 (부경대학교 해양산업개발연구소)
- 2003. 6 : 1차 KSGP 실무자 협의회 (부경대학교)
- 2003. 6 : 한미양식협의회 외해수증양식 전문가그룹회의 참석(푸에르토리코)
- 2003. 7 : 1차 적지선정기술 개발을 위한 현장실사(간절곶)
- 2003. 8 : 2차 실무자 협의회(수산과학원)
- 2003. 8 : 2차 적지선정기술개발을 위한 현장실사(제주, 위미)
- 2003. 9 : 1차 KSGP 국제 워크샵 개최 (부경대학교)
- 2004. 3 : 세계양식학회 참석 및 한미양식협의회 외해수증양식 전문가그룹회의 참석 (하와이)
- 2004. 3 : 한미외해양식기술세미나 참석(제주)
- 2004. 5 : KSGP 지원사업 종료

제2장 국내외 연구개발 현황

- 1940년대: 일본 최초의 부유식 양식이 시작. 초기 외해양식시설의 개발은 북유럽에서 석유시추를 위한 기술을 이용하여 연어양식을 시도
- 1970년대: 철재 부재를 이용하여 제작(노르웨이의 Viking, 아일랜드의 Wavemaster)
유연성재질의 가두리를 설치(노르웨이 Polarcirkel)
고무재질을 이용한 양식시설 적용(Brigstone, Dunlop).
- 1990년대: 외해수중양식시설의 제반 외력 환경을 극복할 수 있는 가두리 시설 개발(스웨덴, Farm Ocean)
바지선 형식의 이동가능한 가두리시설(노르웨이, Aqua system)
- 2000년대: 대학 및 산업체 컨소시움을 결성(외해조건에도 양호한 내파성능, Sea Station 3000, 미국)

2. 최근의 외해수중양식 동향

- 캐나다: 1979년도 초기에 년 6 ton의 생산을 기록하던 연어의 생산량이 2000년 현재 25,000 ton에 이룸(New Brunswick : 세계생산량의 2%, 캐나다 생산량의 28%).
- 타이완: 1,500개의 외해수중양식중 Cobia의 생산이 전체 80%이상을 차지, 좋은 육질(다량의 EPA, DHA, 비타민)
- 미국(하와이): 천혜의 양식환경(수온, 수질)
University of Hawaii Sea Grant College Program 운영(1999)
Offshore Research Project(NOAA)-수중양식시설을 통해 130,000마리의 Pacific threadfin 수확
National Aquaculture Plan : 2025년까지 50억 달러 규모의 산업양식



Fig. 4. fixed offshore aquaculture system.

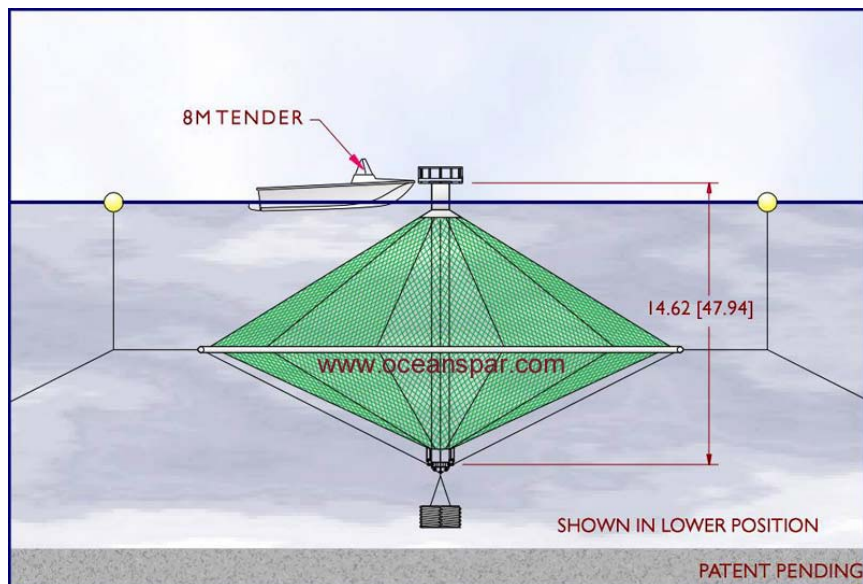


Fig. 5. Underwater offshore aquaculture system.

제3장 연구개발 수행내용 및 결과

1절 외해수증양식시스템 개발의 기본개념

1. 지속가능한 연안역 통합관리

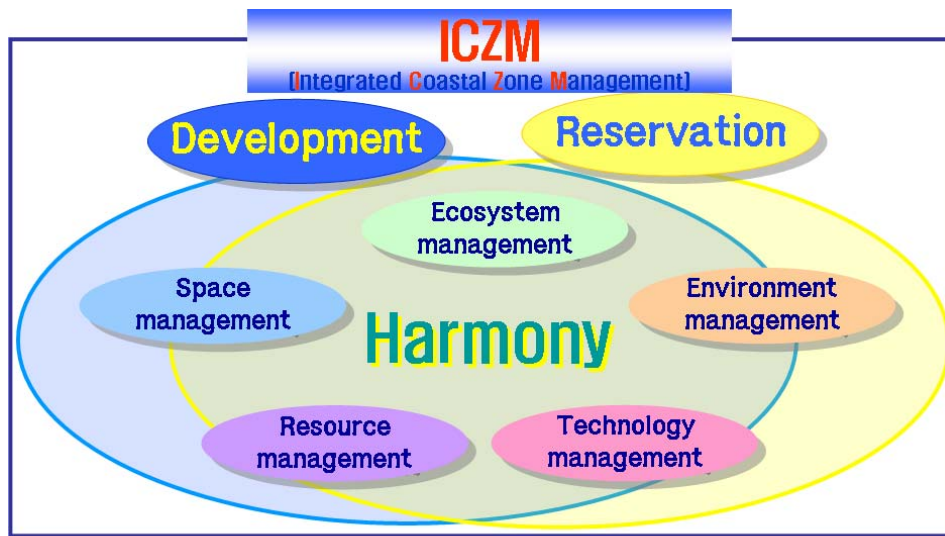
“지속가능한 개발”이라는 용어가 1974년의 국제연합과 UNCTAD 공동개최의 선언에서 공식 사용되면서 연안역에 대한 장기적·거시적인 개발의 축이 구축되었다. 이에 따른 연안역의 이용과 보전을 위한 우리의 노력은 다양한 형태의 연안공간에 대한 재평가로 이어졌으며, 이러한 재평가는 연안공간에 대한 종합적인 관리와 재편성으로 확대 되었다.

연구배경에서 전술하였듯이 기존 연안양식이 가지고 있는 태풍, 적조, 환경오염, 질병 등의 여러 문제점들과 이러한 문제의 주된 원인인 연안양식어장의 과밀화와 영세화의 근본적인 대책으로서의 연안역 공간이용의 통합관리가 필요하며, 지속가능한 연안역 관리의 일환으로 지속가능한 수산자원의 통합관리방안이 대두되고 있다. 이러한 지속가능한 수산자원의 통합관리방안은 Fig. 6과 같이 기본적으로 공간관리, 생태계관리, 환경관리, 자원관리, 그리고 기술관리를 기본으로 구성되어 있으며, 이러한 각 요소의 관리기술이 종합적으로 개발과 보존의 조화를 이루어 갈 때 진정한 지속가능한 연안역 통합관리방안이 구축될 수 있을 것이다.

구체적으로 연안양식시스템의 관리방안으로 세분화하면, 기존 연안역 밀식 양식의 배편성이 중요하다. 연안 내만양식에만 주로 의존해왔던 기존의 양식산업을 권역별로 재분배와 통합관리를 위해 육상양식은 순환여과식과 같은 환경친화적 양식 시설을 배치하고 연안역에는 사료와 질병으로부터 상대적으로 자유로운 해조류 및 패류양식을 중심으로 한 복합양식으로 재편성하며, 기존의 연안의 어류양식은 청정 외해역으로의 재편성을 통해 기존의 오염공간과 질병공간에서 벗어난 건강한 어류 수산물의 생산을 위한 시스템으로 종합관리 되어야 할 것이다.

이러한 종합관리의 요소기술로서 외해수증양식기술은 중요한 의미를 가지며, 연안역 통합관리방안, 수산자원 통합관리 방안으로서의 새로운 패러다임을 제공할 수 있을 것이다.

Fig. 7은 수산공간의 통합관리를 위한 기존 양식산업의 재편성을 위한 모식도이며, 기본적인 구상이다.

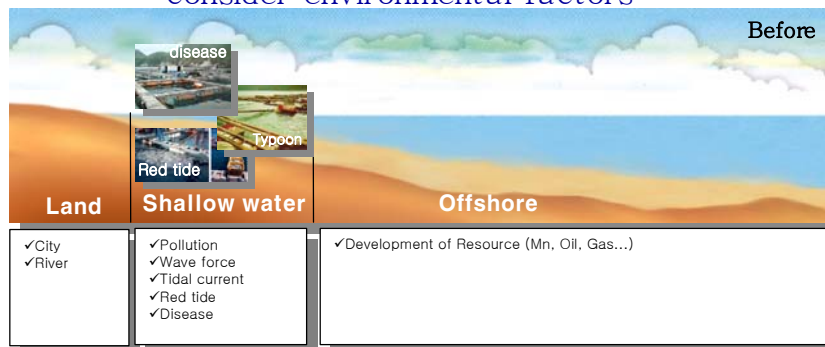


Integrated Marine Space Management

Fig. 6. Sustainable integrated coastal zone management.

Integrated marine space management

consider environmental factors



Integrated Aquaculture Management Project

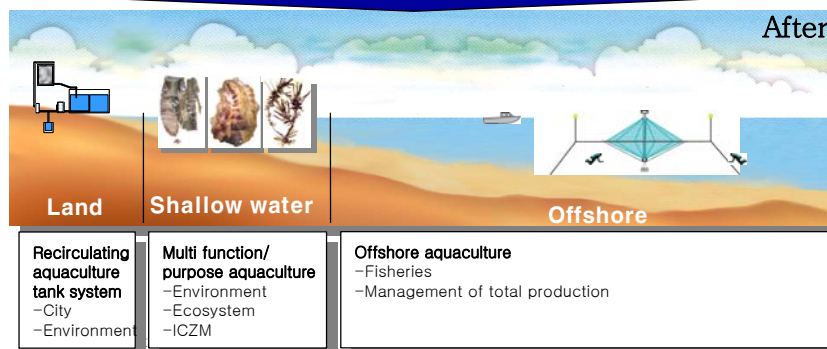


Fig. 7. Integrated marine space management.

2. 외해수증양식시스템 개발의 방향

외해수증양식시스템은 전술하였듯이 종합 수산자원관리의 일환으로 구축되어야 한다. 기존 양식 산업과의 연계성으로 확보한 후 나아가 통합 수산자원 관리계획의 요소기술로서 정립되어야 하며, 기본적인 연구의 개념은 Fig. 8과 같다.

외해수증양식시스템은 사회적, 생태적, 환경적 그리고 수산학적인 문제를 종합적으로 고려하여야 하며, “건강한 바다에서 건강한 수산물의 생산”이라는 기본 목표에서 개발 개념을 전개할 수 있다.

이를 위한 요소기술로 시설의 설계 및 설치를 위한 기술, 양식기술, 시설의 유지 및 관리기술, 생태환경적 문제를 해결하기 위한 기술 그리고 사회적 경제적 인프라 구축을 위한 제반 지원기술이 주요 기술이다.

각 세부요소기술의 내용으로서 시설의 설계 및 설치를 위해서는 설계를 위한 인자의 평가, 이를 적용한 적지선정기술 물론 적지선정은 물리적인 설계요소가 아닌 종합적인 설계요소에서 확장되어야 한다. 양식기술의 개발은 건강한 수산물의 생산을 위한 수산물의 관리 및 육성기술이 중요하며, 시설의 유지·관리를 위한 기술 특히 외력에 의한 시설의 안정성, 그들의 폐색과 관리, 무인 급이시스템 등이 요소기술이다. 생태환경적인 문제를 해결하는 기술로서, 시설주변의 수질의 모니터링 및 관리기술, 환경인자들의 지속적인 관리·개선이 중요한 문제이다. 그리고 사회경제적인 문제로서 인력의 양성 및 지원이 중요하다. 모든 기술개발의 기본은 인력의 양성이다. 우수한 기술의 체계적이고 지속적인 발달을 위해서는 인력양성시스템이 병행되어야 하며, 전술한 각 요소의 기술을 지원할 수 있는 인적 지원시스템이 필요하다. 그리고 기타 수산물의 유통의 문제, 관련 법제적인 문제, 홍보의 문제 그리고 생산성 강화의 문제등이 장기적이고, 지속적인 외해수증양식시스템의 개발을 위해서 중요한 요소기술이 될 것이다.

외해수증양식시스템의 개발범위는 각 요소들에 대한 구체적인 기술개발을 통해 이들의 LCA(Life Cycle Analysis)를 통해 유기적인 연구가 진행 될 수 있도록 하여야 한다.

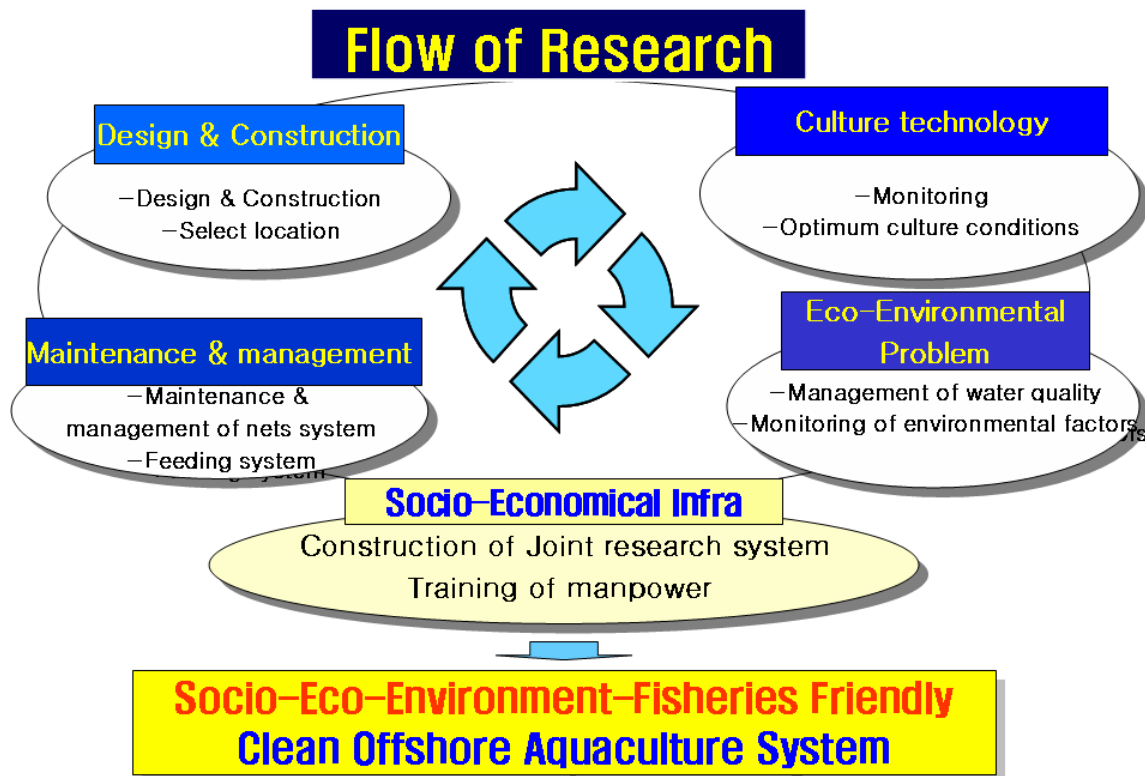


Fig. 8. Basic concept of offshore aquaculture system development.

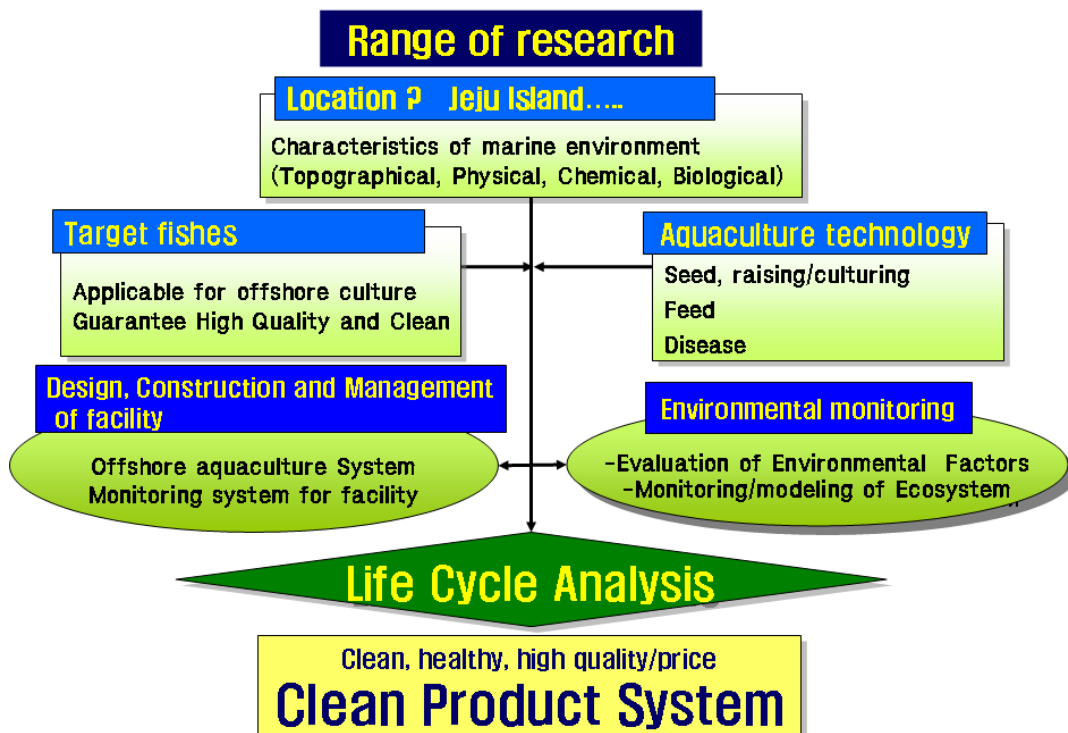


Fig. 9. Range of Research.

3. 외해수증양식시스템 설계

외해수증양식시스템의 설계를 위해서는 위의 종합적인 개발의 방향과 함께 세부적인 설계기술이 병행되어야 한다. 세부적인 설계를 위해서는 Fig. 9와 같이 우리나라 주변해역의 지형적, 물리적, 화학적, 생태학적, 생물학적 그리고 환경적인 특성의 검토와 극치환경에 대한 통계적 분석과 사회적-경제적인 기반을 고려하여 대상해역의 특성을 분석하여야 한다.

이러한 해역의 특성 분석을 통해서 외해수증양식의 대상 어종, 구조물, 환경관리시스템, 질병관리시스템이 구축되어야 하고, 이를 LCA(Life Cycle Analysis) 해석하여 종합적이고, 유연한 외해수증양식시스템이 구축될 수 있도록 하여야 한다.

본 연구에서는 종합적인 설계개념개발과 함께 세부적으로는 수산물리학적 설계요소를 주요 검토 대상으로 하여, 외해수증양식시스템의 공학적 설계를 다루고자 한다.

외해수증양식시설의 공학적 설계개념은 Fig. 10과 Fig. 11에서 나타나 있다. 먼저 적지에대한 외력환경의 검토가 필요하며, 이러한 검토를 통한 외력요소의 결정 및 적지의 결정이 수반된다. 이때 설계외력으로는 여러 가지 요소의 검토가 필요하며, 본 연구에서는 물리적 검토요소인 파랑과 흐름에 대해 검토한다. 이러한 설계외력과 구조물의 형태가 결정되면, 구조물의 안정성 및 기능성의 검토가 수행되어야 하며, 이때 사용되는 공학적 방법으로는 수리학적 검토와 수치적인 검토가 이루어진다. 설계외력에대한 평가도 종전의 결정론적 설계에서 각 변수들의 재현성과 이에대한 구조물의 반응을 종합적으로 고려하는 신뢰성 설계가 이루어져야 하며, 이러한 설계는 생애주기분석(LCA)개념이 병행되어야 한다.

이러한 외력의 설계와 결정, 그리고 구조물의 설계는 구조물의 형식에 따라 고정식, 부유식으로 결정될 것이며, 각형식에 따라 세부 설계요소가 조정된다. 부유식의 경우 일반적으로 계류계의 설계와 부유형상의 유지가 주요 문제가 된다. 부유형상의 유지를 위해서는 적정침자와 적정프레임의 설계가 중요한 요소이다. 고정식의 경우 지반조건과 수심이 중요한 설계요소가 되며, 구조물의 강도 또한 외력에 대한 중요한 설계요소가 된다. 각각의 수증구조물은 부력의 영향을 받게 되며, 이러한 부력에 대한 검토 또한 필요하다.

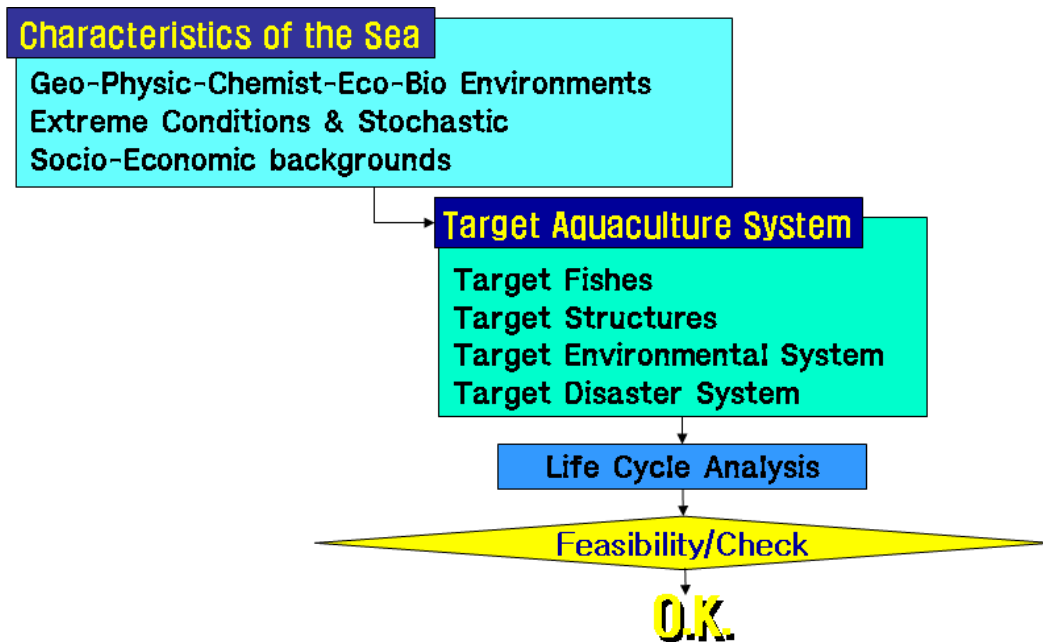


Fig. 10. Large/long scale feasibility system analysis considering various Socio-Eco-Environmental and Fisheries factors.

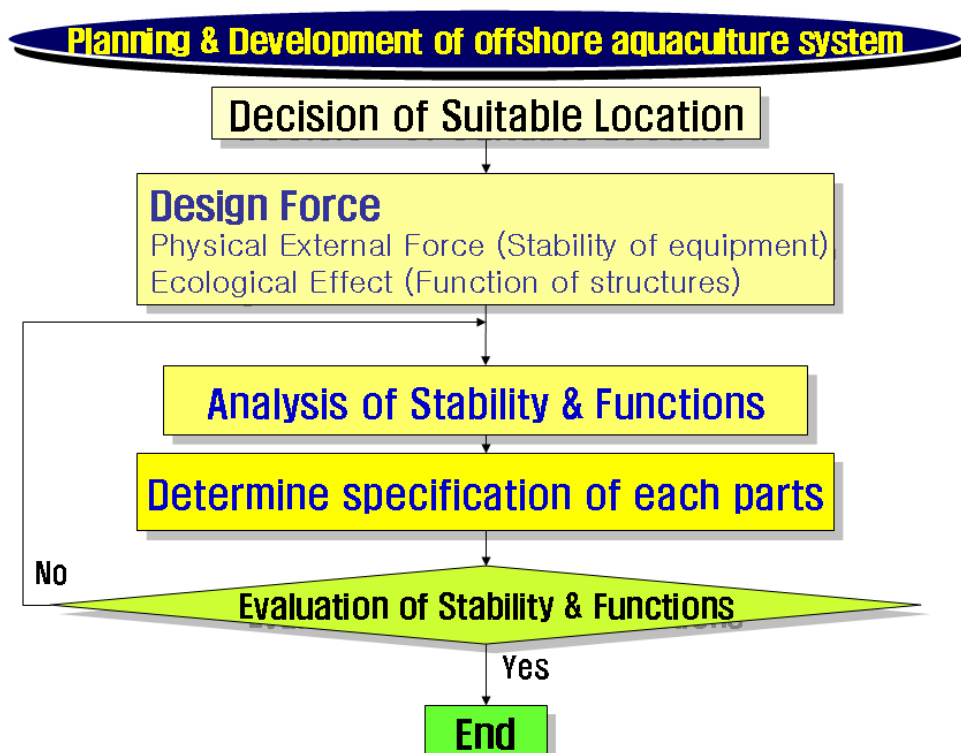


Fig. 11. Design of offshore aquaculture system.

Design procedure of offshore aquaculture system

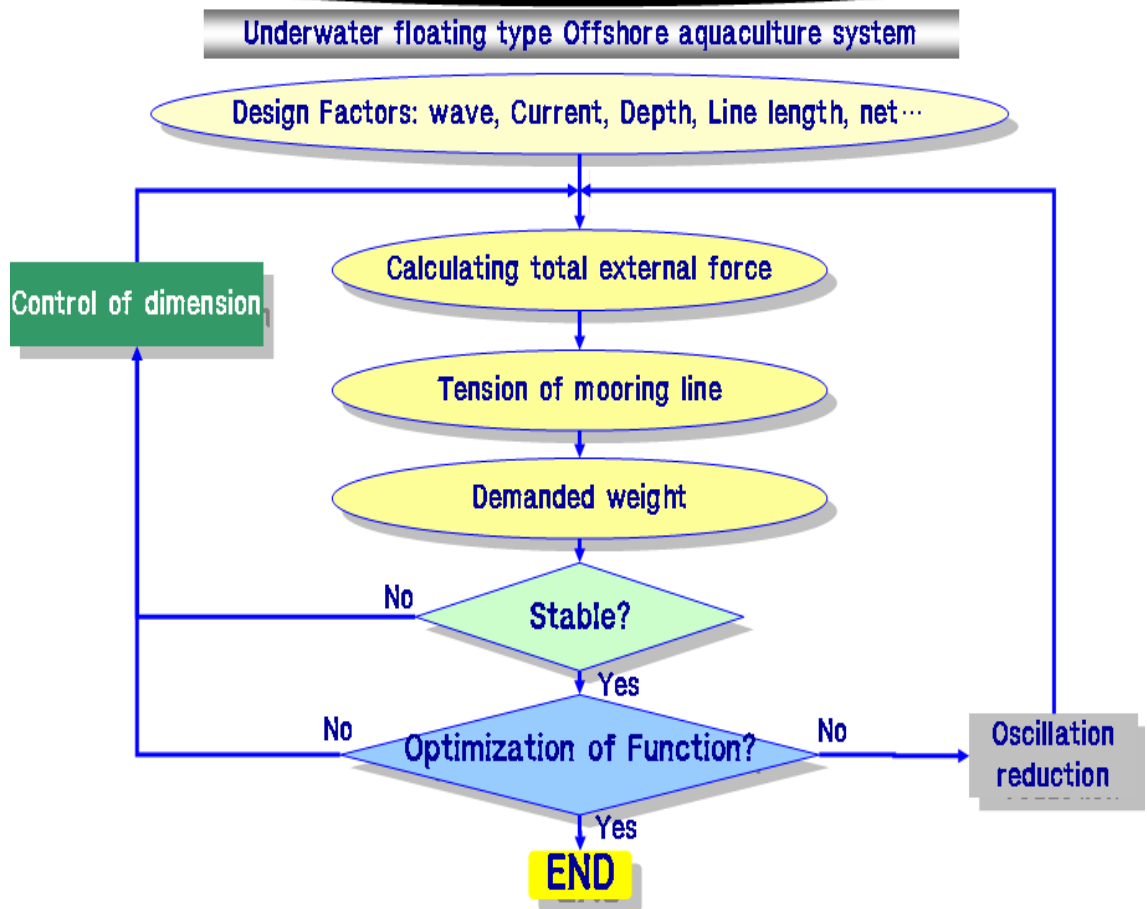


Fig. 12. Design procedure of offshore aquaculture system.

2절 외해수증양식시스템 설계요소 -물리환경-

외해수증양식시스템 구축을 위해서는 종합적인 수산공학시스템의 지원/결합이 필요하며, 세부적으로 분류하면 Fig. 7과 같이 적지선정과 생물학적, 환경학적, 경제학적 요소들의 종합적인 검토가 필요하며, 더욱 세부적인 요소는 Fig. 13에서 설명하고 있다. 각 요소들의 유기적인 관계를 통한 시스템 설계가 이루어 져야 한다. 본 연구는 외해수증양식시설의 공학적 설계를 위한 물리환경적인 적지선정이 주요 연구방향이며, 적지선정을 위한 공학적요소를 크게 다음의 물리학적, 양식공학적, 인문사회적 요소로 분류하여, 공학적인 외력 평가방법과 현지조사를 수행하고, 기타 제반 요소기술을 논의하고자 한다.

물리적 환경:

- 외해수증양식시설의 역학적거동 - 파랑, 흐름
- 수심
- 지형

양식공학적 환경:

- 대상어종 선정
- 대상어종의 서식 특성 및 생육특성 고려
- 생육관리 및 상품성 관리
- 관리상의 적지

인문사회적 환경:

- 유통 판매상의 적지
- 생산원가상의 적지
- 인·허가와 관련된 적지

외해수중양식기술 개발 시 고려사항

위치선정기준

- * 해저지형/저질형태/수심
- * 관리소/접근의 용이성(관련 인프라)
- * 대상어종의 생산성 관련 환경요소

생물학적 고려사항

- * 선정/선정종의 다양화 * 유전학적 관리 * 종묘크기 및 수용기술 * 어류의 질적 평가
- * 수용된 종의 구별 및 표지개발 * 영양 및 사료(어분대체, 사료의 다양화, 부산물 이용 등)
- * 어류 건강관리/질병진단 및 관리 * 종묘생산기술 및 종묘의 다양화 * 복합양식 * 친어성숙관리
- * 생물학적 상호관계/서식지 영양염 강도 최적화 * 양식종의 행동에 따른 최적 가두리 형상 설계

환경학적 고려사항

- * 수질 및 영양염 * 저질의 유기물 * 생물학적 상호관계 * 종묘문제 * 어류군집 유도장치(FADs)
- * 생태학적 상호관계(가두리에서 빠져나간 어류의 문제, 질병전파문제)
- * 인간활동이 환경에 미치는 영향 * 사료조성(생사료 및 배합사료) * 치료 및 백신처리 문제
- * BMP(최적관리계획, Best Management Plan)

경제학적 고려사항

- * 수산 및 양식생산량의 통계적 특성 * 소비자 선호도(Consumer preference)
- * 생산품의 경제성 제고(Value-added/Preference) * 상품크기/Product selection/species
- * 생산규모(Scale of Production)

기타 시스템 운영상의 문제

- * 급이시설(먹이를 가두리에 이동시키는 방법) * 수확방법-크기 문제 * 선별 * 부착생물제거(방오물질)
- * 잠수부의 관리 * 시스템 모니터링(환경관리, 시설물관리, 도난관리) * 어류수용법 * 관리소 및 관리선
- * 어류수송 및 가두리 적응법 * 위험도 평가(Risk assessment) * 규제문제(Regulatory consideration)
- * 교육 및 홍보(Education and outreach)-대중홍보(Public perception)

Fig. 13. Problems for development of offshore aquaculture system.

1. 한국연안의 수산물리학적 특성

한국의 연안역을 수산학적으로 분류하면, 동해구, 서해구, 남해구의 세가지 구역으로 구분(노, 2004).

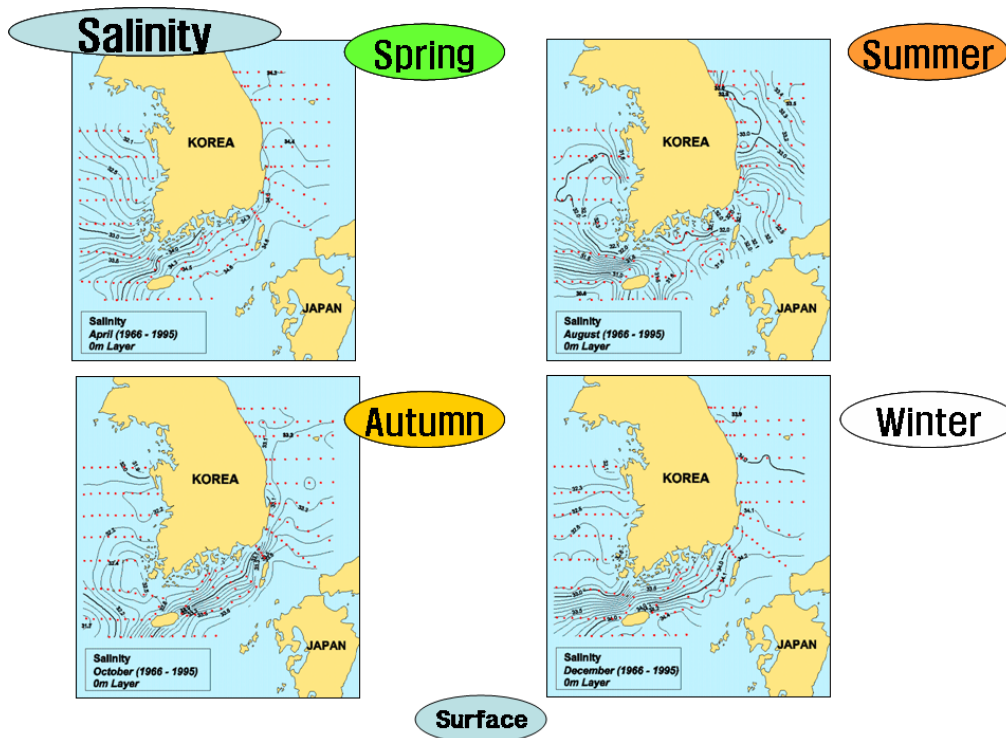
동해구는 북한한류와 동한난류가 계절에 따라 교차하여 영양염류의 순환이 왕성. 따라서 겨울철 한류어종(명태, 대구, 연어, 새우 등)과 여름철 난류어종(오징어, 콩치, 방어, 멸치 등)의 교차가 분명하며, 회유성 어종 및 저서어종 그리고 정착성 어종이 동해의 어장을 이루고 있음, 또한 용승어장이 발달하여 좋은 어장 발달.

서해구는 수심이 작고, 조류가 빠르며, 해수의 오염도가 심하여, 플랑크톤의 양은 동해구보다 적음. 한류는 발달하지 않으며, 적절한 산란장이 발달. 난류성어종은 동계에 남하하여 중부이남에서 월동하며, 춘계에 북상함. 발달한 간석지에는 패류 및 조류양식이 발달.

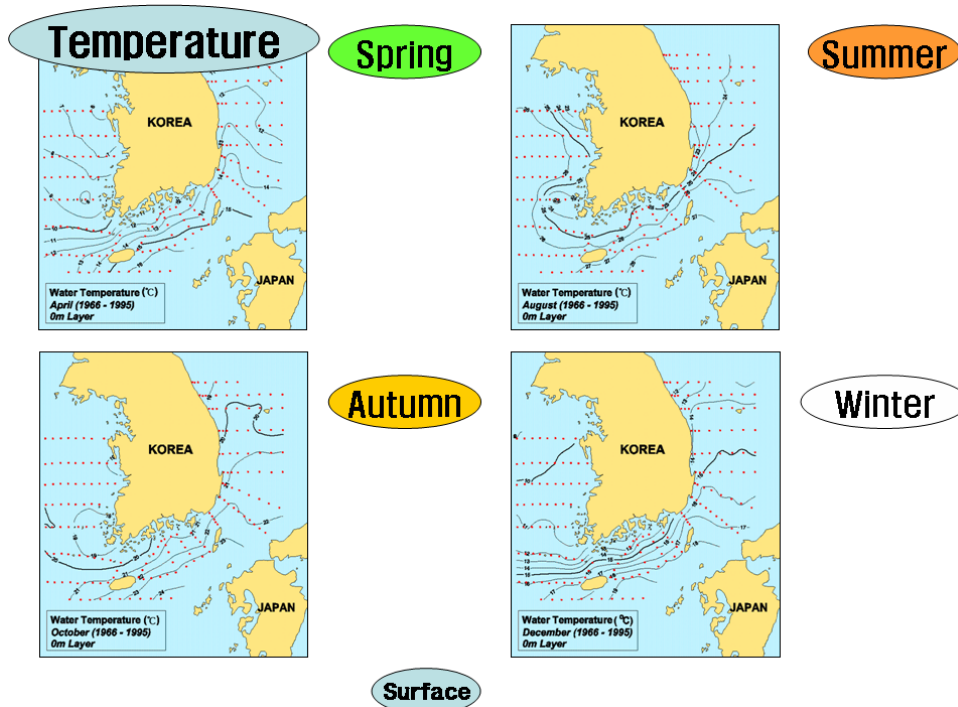
남해구에는 산란장이 많아 어군의 집약도가 크며, 다양한 어종과 다양한 어업자원 그리고 다양한 수산기술이 발달되어 있음.

Fig. 14은 우리나라 주변의 계절별 표층 수온 및 염분의 변화를 나타내고 있으며(수산과학원, 2003), 1966년부터 1995년까지의 자료에서 하계의 표층 염분은 동해에서 32.5.~33.4, 남해에서 32.0.~32.1, 서해에서 31.6~32.0의 값을 그리고 제주도 부근에서는 31.0.~31.5의 값을 보인다. 동계의 경우 동해에서 33.9~34.1, 남해에서 33.0.~34.2, 서해에서 32.1~33.0 그리고 제주부근에서 34.0~34.2의 분포를 보임.

표층 수온(°C)은 하계에는 동해에서 23~26, 남해에서 24~26, 서해에서 23~26의 값을 그리고 제주도 부근에서는 26~27의 값을 보인다. 동계의 경우 동해에서 12~17, 남해에서 12~17, 서해에서 9~12 그리고 제주부근에서 16~19의 분포를 보임.



a) Salinity



b) Temperature

Fig. 14. Distribution of salinity and temperature around the Korea(NFRDI).

2. 한국주변의 파랑과 태풍

가. 파랑

대체로 파랑은 풍속에 비례하여 증가하나, 취송거리 및 취송시간 때문에 각 해역 별로 파랑의 발달이 크게 다름.

동해의 북쪽은 수심이 얇은 해협들을 통해 북서 태평양과 연결되며, 남쪽은 대한 해협에 의해 남해와 연결되어 있어 내해와 같은 성격을 지니고 있음. 따라서 동해의 파랑은 대체로 이 해역에서 발생된 풍파에 의해서 지배되며, 수심이 깊기 때문에 이 지역에서의 파랑은 심해파이며, 연안에 이르러 변형이 일어남.

서해안은 동해안과 대조적으로 많은 섬들로 이루어져 있으며, 중국대륙과 서해안으로 둘러싸여 있어 서해에서의 파랑발달은 대부분 취송거리의 제한을 받음. 또한 주변해역 중에서 수심이 가장 얇으며, 조차가 지역에 따라 크게 다르기 때문에 특히 연안 부근에서는 해저면 마찰, 조류 등의 영향을 크게 받음. 연안부근에서의 큰 파는 북해기류가 강하게 유입될 때 일어남.

남해는 남쪽이 외해에 근접해 있으므로, 여름철 태풍의 영향과 외해에서 발달된 폭풍파의 영향을 너울의 형태로 많이 받고 있음. 서쪽과 북동쪽으로 트여 있어 바람의 방향에 따라 서해, 동해상에서 발달한 긴 파장의 파가 전파되어 올 때도 있다. 연안지역은 섬들이 많이 산재하여 연안에서의 파랑은 지형의 영향을 크게 받음.

동계는 대체로 시베리아 고기압의 발달에 의한 북서계절풍이 우세하다. 이때 우리나라 부근의 등압선은 남북방향으로 조밀하게 배치되어 주로 강한 북서-북동풍이 유입. 이 시베리아 고기압은 규모가 방대하여 서해에서는 바람의 지역적 변화가 비교적 적은 편이므로 주로, 취송거리에 의해 파랑의 지역적 분포가 크게 좌우됨. 동해안에서의 큰 파랑은 시베리아 고기압이 동진하여 우리나라에 북동기류가 유입할 때 일어남.

중국에서 발생한 온대성 저기압이 동쪽 또는 동북쪽으로 진출하여 우리나라 근해 상에서 발달할 때 해상에는 강풍과 이상파랑이 발생하며, 대부분의 경우 큰 파는 후면의 고기압이 강해질 때 큰 기압경도에 의해 발생하나 저기압 자체만으로도 폭풍을 일으킬 수 있다. 파랑의 높이와 그 이상적 분포는 이 저기압의 경로, 발달규모 그리고 후면의 고기압의 세기 등에 의해 결정된다. 이 온대성 저기압은 서해와 남해에서 보다 동해쪽으로 진출할 때 크게 발달하여 동해상에서 큰 파랑을 일으키는 경우가 많음.

해마다 하계에 우리나라에 내습하는 태풍은 그 강도가 온대성 저기압과 비교할 때 매우 강하여, 그 영향을 직접 받는 남해전역과 서해남부, 동해 남부해상은 태풍

에 의해 가장 큰 파랑이 발생. 파랑은 태풍의 이동경로에서 태풍에 대한 상대적 위치에 따라 파랑의 분포가 정해지는데 서해안의 부근도서에서 북서쪽으로 바다를 향한 항만들은 태풍에 직접적인 영향을 받지 않고, 북서계절풍에 의해 큰 파랑이 발달하나 서해도서의 남동해안 그리고 남해의 거의 대부분과 동해 남부해안은 태풍시에 큰 파랑이 일어남.

나. 태풍

(1) 태풍의 정의

- 북태평양 서부에서 발생하는 열대저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17m/s이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 열대이동성 저기압.

(2) 태풍의 특징

- 수온 27 ℃ 이상의 해면에서 태풍이 발생.
- 중심 부근에 강한 비바람을 동반.
- 온대저기압은 일반적으로 전선(前線)을 동반하지만, 태풍은 전선을 동반하지 않음.
- 폭풍영역은 온대저기압에 비해서 대체로 작지만 그 강도는 강함.
- 일반적으로 발생 초기에는 서북서진(西北西進)하다가 점차 북상하여 편서풍(偏西風)을 타고 북동진(北東進).

(3) 태풍의 발생원인

- 적도전선(태풍발생의 온상) → 적란운 발생, 강한 스콜(Squall) 동반 → 소용돌이 형성 → 수렴기류로 인하여 적도 부근에 집중 → 태풍형성

(4) 태풍의 크기 및 강도 분류

- 태풍의 크기 및 강도는 Table 1과 Table 2에서 나타내었다.

Table 1. Magnitude of Typhoon with radius(KMA, 1904~2003).

Grade	Radius (above 15m/s)
Small	< 300km
Medium	300km ~ 500km
Large	500km ~ 800km
Ultra	800km <

Table 2. Magnitude of Typhoon with maximum wind speed(KMA, 1904~2003).

Grade	maximum wind speed
Small	17m/s(34kts) ~ 25m/s(48kts)
medium	25m/s(48kts) ~ 33m/s(64kts)
Large	33m/s(64kts) ~ 44m/s(85kts)
Ultra	44m/s(85kts) <

(5) 우리나라의 태풍 경로

(가) 우리나라에 내습한 태풍의 경로 및 특징

- 여름철에 우리나라에서 발생하는 큰 해일은 태풍에 동반된 강한 바람이나 저기압에 의해 야기.
- 육지를 향해 부는 강한 바람에 의해 해수는 연안에 침적되어 해수면 상승을 초래하며, 외해쪽으로 부는 경우 해수가 빠져나가 해수면이 하강.
- 태풍에 동반된 기압강하는 1 hPa 하강할 때 마다. 약 1cm의 해수면 상승을 초래하며, 강한 바람으로 침적된 해수면을 더욱 높아지게 할 수 있음 (Pugh, 1987).
- 태풍의 중심부근에서는 저기압에 의한 양의 해면이. 태풍 후면에서는 바람 응력에 의한 음의 해면이 나타남(오 & 김, 1990).
- 한해에 3개 정도의 태풍이 우리나라에 영향을 미치며, 태풍내습의 최다월은 8월, 7월, 9월의 순서.
- 7월, 8월, 9월 3개월 동안에 내습한 태풍 수는 전체의 91%.
- 정상경로 -발생기에는 북태평양 고기압의 연변을 따라 서진 혹은 북서진 하며 북위25°부근에 도달한 다음 전향하면서 최성기에 달하며, 그 이후에는 포물선을 그리며 북동진하며 최약기에 접어듬.
- 이상경로 -경로가 포물선을 그리지 않고, 고리나 갈지자형의 진로로 가는 경우.

Table 3. Monthly reveal number of Typhoon in Korea(KMA, 1904~2003).

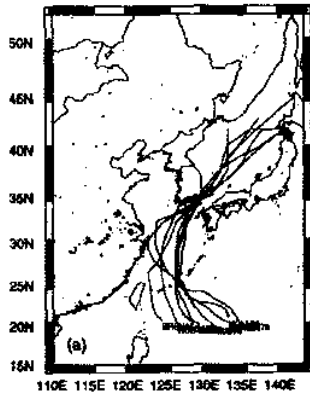
월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계	연평균
횟 수	-	-	-	-	2	18	89	115	78	8	-	-	310	3.1

Table 4. Monthly reveal number of Typhoon routes in Korea(KMA, 1904~2003).

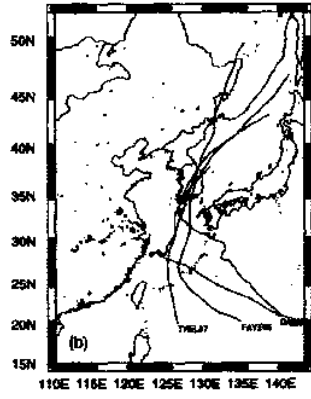
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total	Ave.
Ordinary	-	-	-	-	1	15	72	97	75	8	-	-	268	89
Extraordinary	-	-	-	-	-	2	14	16	2	-	-	-	34	11
Total	-	-	-	-	1	17	86	113	77	8	-	-	302	100

Table 5. Reveal percentage of Typhoon with routes in Korea(KMA, 1904~2003).

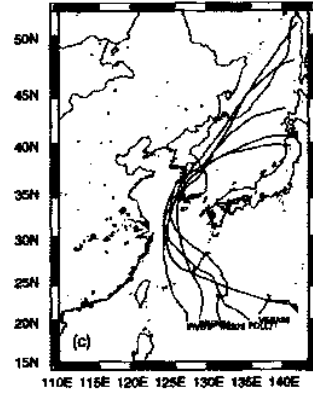
Type	Route	Reveal (%)	
01	East China sea- south sea - East sea	29	
02			
03	West sea - Korea peninsular	11	
04			
05	East China sea - Kiushu(Japan)	17	
06	East China sea - China - West sea	10	
07			



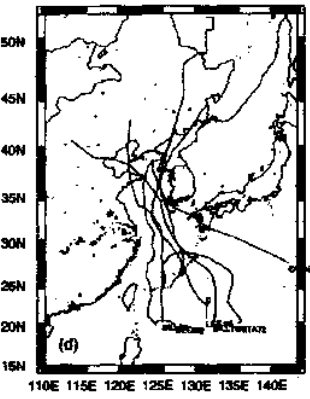
a) Type 01



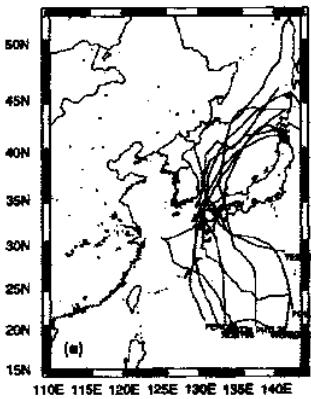
b) Type 02



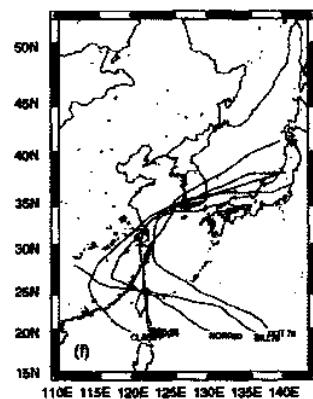
c) Type 03



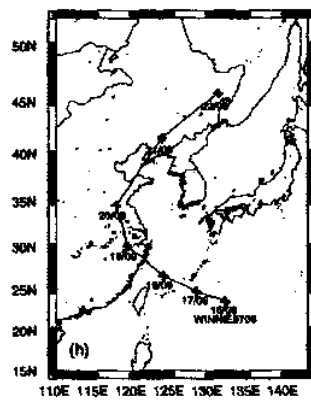
d) Type 04



e) Type 05



f) Type 06



g) Type 07

Fig. 15. Routes of Typhoon.

다. 한국주변의 흐름(조류, 해류)

(1) 조류

(가) 동해안

동해안의 조차는 0.3m 내외에 불과하며, 일조부등이 매우 현저하여 1일1회조의 경우가 있음. 조시의 부등은 고조에 크고, 조고의 부등은 저조에 크나 고고조 다음에 저저조가 일어남. 평균 고조간격은 연안의 대부분이 3시간이나 남단 부근에서는 남쪽으로 감에 따라 급격히 증가하여 부산항 부근에서는 약 8시간.

봄·가을철 삭·망 전후에는 대개 규칙적으로 1일 2회의 고조와 저조가 있음.

대조차는 감포 이북은 0.3m이하이며, 울산에서 0.5m, 고리에서 0.7m, 부산에서 1.2m로 남으로 갈수록 점차 증가.

평균해면은 3월이 가장 낮고 8월에 가장 높으며 그 차는 약 0.3m로서 여름철의 가장 낮은 고자가 봄철의 가장 높은 고조와 거의 같은 높이로 되는 곳도 있으며, 또한 어떤 항만에는 해면의 부진동 현상이 있어 그 승강이 조석에 의한 승강보다 큰 경우가 있음.

(나) 남해안

동부에 있어서는 일조부등이 매우 적고 대개 규칙적인 승강을 한다. 조시의 부등은 저조에는 크고, 고조에는 거의 없다. 이에 반하여 두 저조의 높이에는 부등이 거의 없으나, 두 고조의 높이에는 다소 부등이 있다. 그리고 고고조는 일반적으로 봄철에는 오전에, 여름철에는 야간에, 겨울철에는 주간에 일어나는 것이 일반적임. 서부에 있어서는 일조부등은 크지 않음.

고·저조 모두 거의 같은 조시 및 조고의 부등이 있고, 저저조 다음에 고고조로 된다. 이 고고조가 일어나는 시각은 동부와 같음.

평균고조간격은 남해안 동부에서의 8시부터 서쪽으로 감에 따라 점차 증가하여 중부에서 9시, 서부에서 11시가 된다. 대조차는 부산의 1.2m로부터 서쪽으로 감에 따라 증가하여 여수에서 3.0m, 완도에서 3.1m가 된다. 평균해면은 2월에 최저, 8월에 최고로 되어 그 차는 약 0.3m에 달함.

(다) 서해안

일조부등은 일반적으로 적으나 조차가 크므로 약간 큰 조고의 부등을 볼 수 있다. 남부에 있어서는 고·저조 모두 평등하게 조시 및 조고의 부등이 있으며, 저저고후에 고고조로 된다. 북부에 있어서는 조시의 부등은 저조시에 크고, 고조시에는 적다. 이에 반하여 조고의 부등은 고조시에 크고, 저조시에는 적다. 그리고 저저조 다음에는 고고조가 되며, 고고조는 봄·여름철에는 주간에, 가을·겨울철에는 야간에 일어남.

평균해면은 2월에 가장 낮고 8월에 가장 높으며, 그 차는 약 0.5m에 달한다. 평균고조간격은 서해안 남부에서 약 11시이고 북쪽으로 가면서 점차 증가하여 군산 부근에서는 약 3시, 인천부근에서는 4.5시, 대동강부근에서는 약 8시이고 압록강 부근에서는 약 9시.

대조차는 서해안 남부에서의 약 3.0m부터 북쪽으로 올라감에 따라 증가하여 군산에서 약 6.0m, 인천부근에서는 약 8.0m에 달한다. 여기서부터 북쪽으로는 감소하여 대청도 부근에서는 약 2.8m가 되나 다시 증가하여 남포에서는 약 4.8m, 압록강 입구에서는 약 4.2m.

(2) 해류

한국 근해인 동해 및 황해는 태평양의 북서부에 위치한 부속해로서 그의 해양현상은 태평양의 해양현상과 밀접한 관계가 있음. 특히 한국근해의 해류는 북태평양의 서부를 따라 북상하는 쿠로시오(Kuroshio, 黒潮)의 지류인 대마난류가 주를 이루고 있음. 따라서 한국 근해의 해류계는 쿠로시오의 영향을 지배적으로 받음.

쿠로시오가 Lizon, 대만 동방으로부터 동중국해의 대륙붕을 유속 1~2.5kn, 유폭 수십해리로 북상하여, 아마미오시마의 북서방에서 분리한 것이 대마난류가 되어 대한해협을 거쳐 동해로 유입하고, 나머지 쿠로시오 본류는 주로 야구시마 남방의 도카라해협을 통과하고 일부는 오스미해협을 통과하여 동류.

쿠로시오 주류로부터 대마난류의 분지가 시작되는 곳은 아마미오시마 북서방의 북위 28° 30' ~ 북위 29° 30', 동경 127° 30' 부근이며 쿠로시오가 동중국해 대륙사면으로부터 떨어지기 시작하는 부근. 이 곳에서 파생된 난류는 동중국해 대륙붕상의 수괴의 영향을 받으며 북동류하면서 대마도에 의해 양분되어 동해로 유입하는 유동으로 보는 것이 일반적인 개념임. 남해연안에서는 거제도로부터 소리도에 이르는 사이에서는 대마난류의 서향류가 1년을 통해 우세한데 여름에는 와류에 의해, 겨울에는 보류에 의해 일어나며, 대마난류와 연안수 사이의 전선은 겨울철보다 여름철에 어 먼바다에 형성.

동해의 해류는 크게 분지설(3분지설, 2분지설)과 사행설로 설명하고 있으며, 3분지설은 대마난류는 동해로 들어서면서 세분지로 갈라져서 동류하는데 그 분지들은 일본연안으로 제1, 제2, 제3분지로 불리움. 제1분지는 隱岐해협을 지나 본주연안을 따라 북상한다. 제2분지는 隱岐제도 서방으로부터 大化堆로 향해 대화퇴의 남서해역에서 능등반도방향으로 전향하여 능등반도위에서 북동으로 방향을 바꾼다. 제3분지는 한국 남동연안을 따라 북상하다가 38° 30' 부근에서 동으로 꺾여 울릉도 북으로부터 북대화퇴부근을 지나 동류.

사행설은 대마난류가 크게 사행하는 한줄기 흐름이 주류라는 설으로 사행설은 분

지설에서 시도한 바와 같은 유형의 구분이 어려움.

서해의 해류는 황해중앙부에 대마난류로부터 분지되어 제주도 서방을 지나 황해로 유입하는 황해난류가 북상하여 발해까지 고온고염의 해수를 운반하는 것으로 믿었다(Uda, 1934). 겨울철에는 이러한 현상이 관측되었으나, 최근에 이르러 봄·여름철에는 이 황해난류의 북상이 불명하며, 제주도를 돌아 제주해협을 동류하고 있음을 지적하고 있다(Kondo 1985, 박 1986, 이 1986)

외해수중앙식에 영향을 주는 해류는 한국연안의 흐름이다. 따라서 남해의 쿠로시오해류와 대마난류, 동해의 동한난류와 북한한류, 황해의 황해난류 등이다.



Fig. 16. Ocean circulation around the Korea.

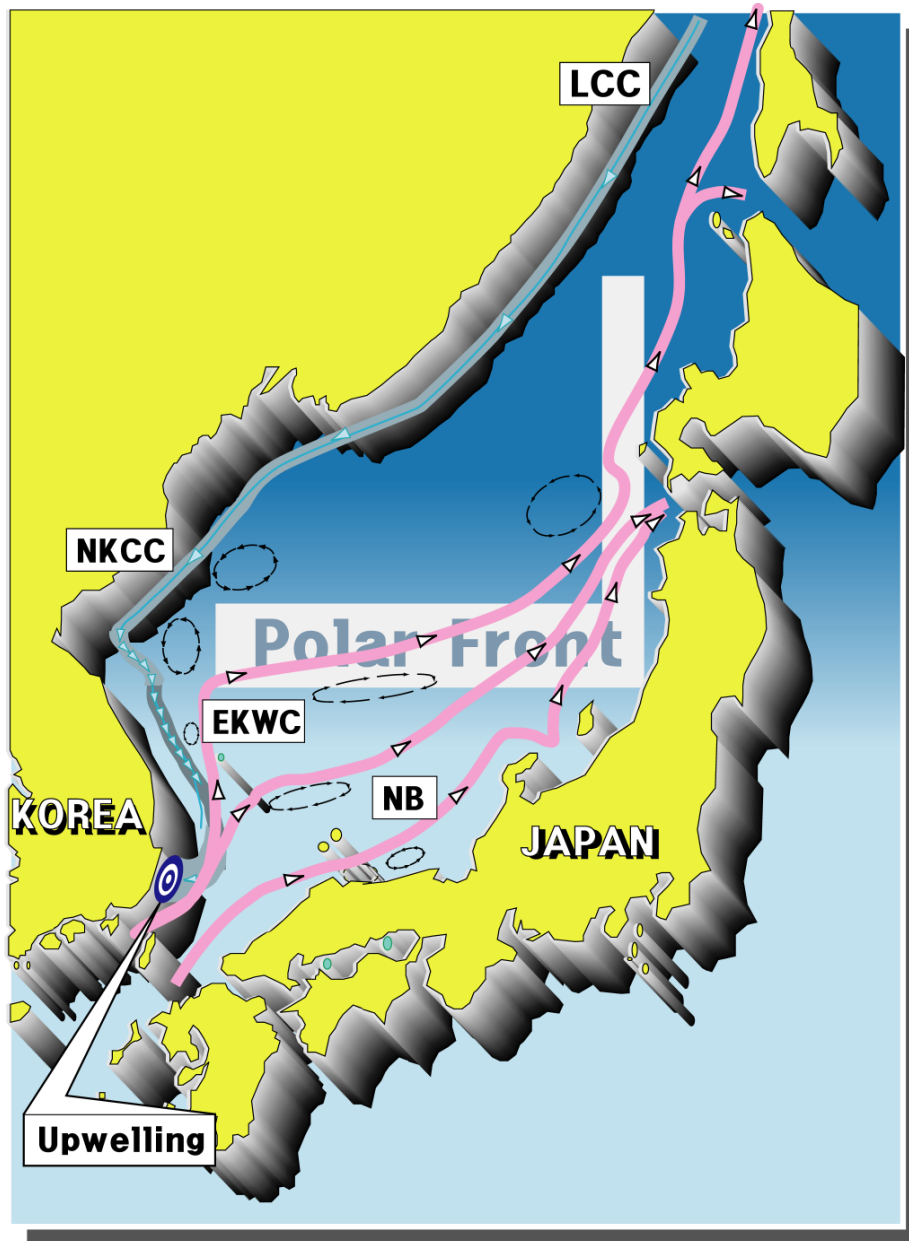


Fig. 17. A schematic diagram of ocean circulation in the East-Sea.

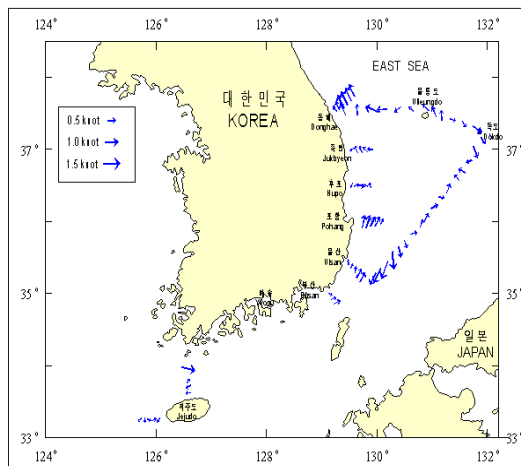
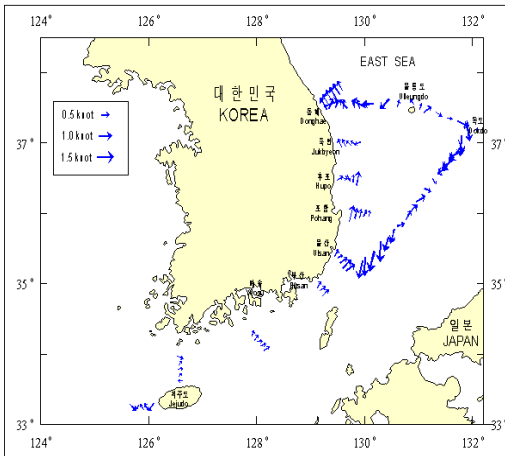
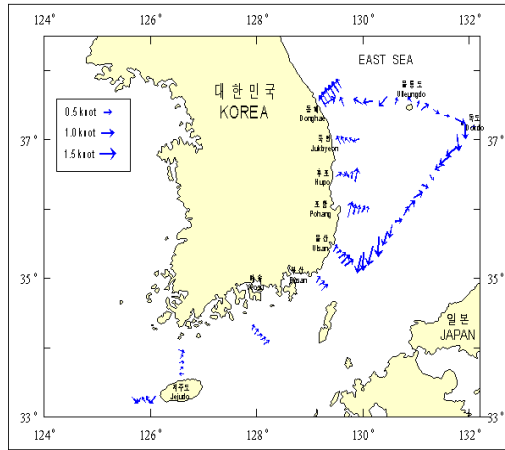


Fig. 18. Distribution of currents at each depth
(2002. 2, Depth = 20 m, 50 m, 100 m).

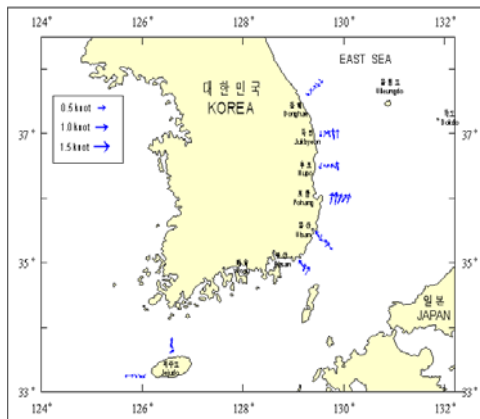
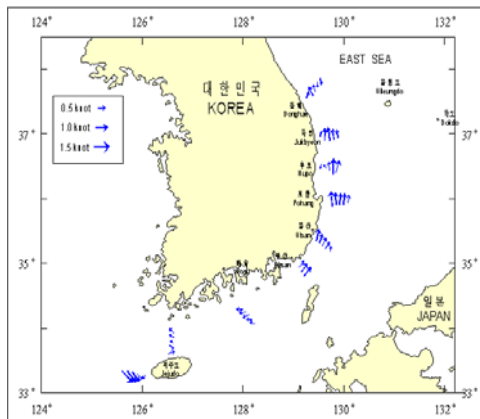
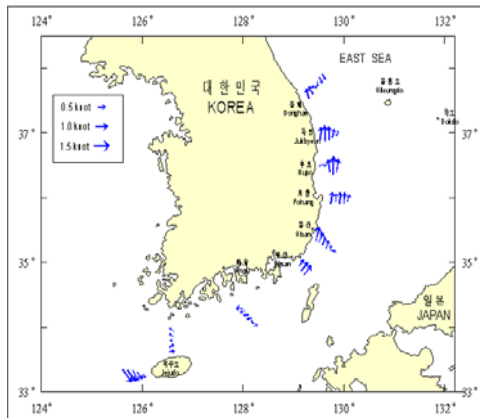


Fig. 19. Distribution of currents at each depth
(2002. 4, Depth = 20 m, 50 m, 100 m).

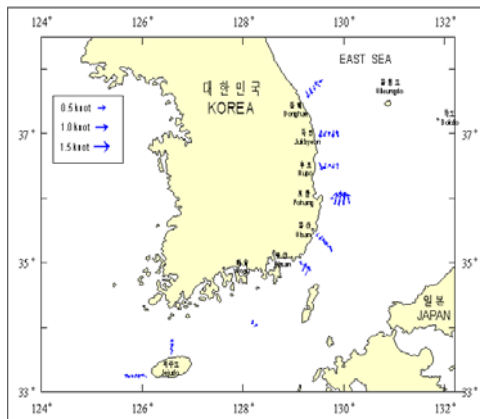
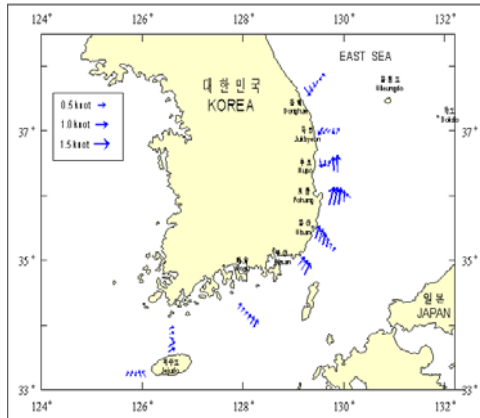
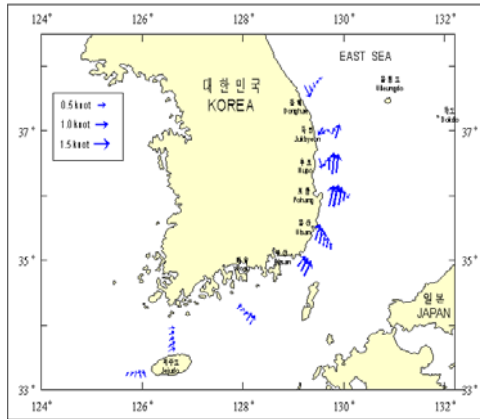


Fig. 20. Distribution of currents at each depth
(2002. 6, Depth = 20 m, 50 m, 100 m).

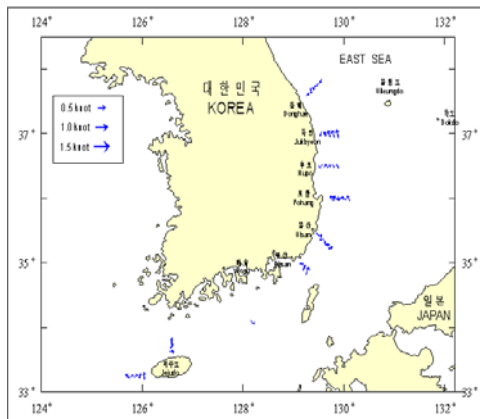
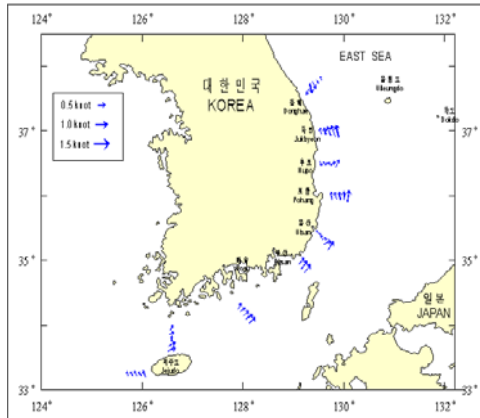
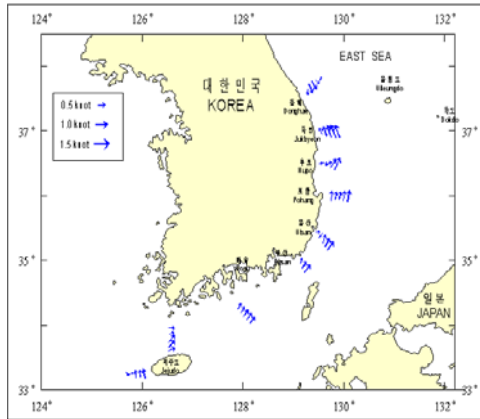


Fig. 21. Distribution of currents at each depth
(2002. 8, Depth = 20 m, 50 m, 100 m).

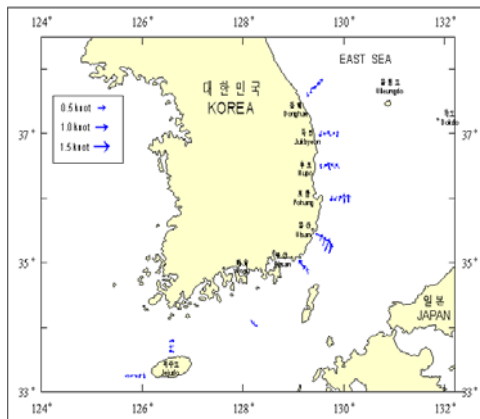
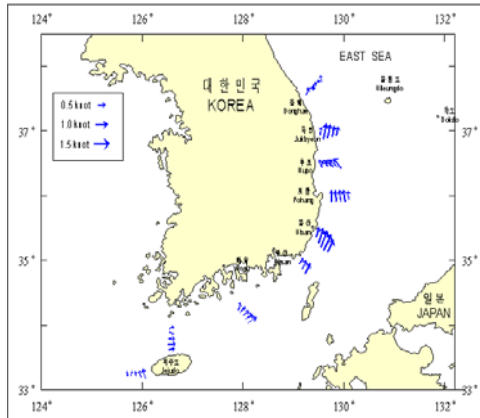
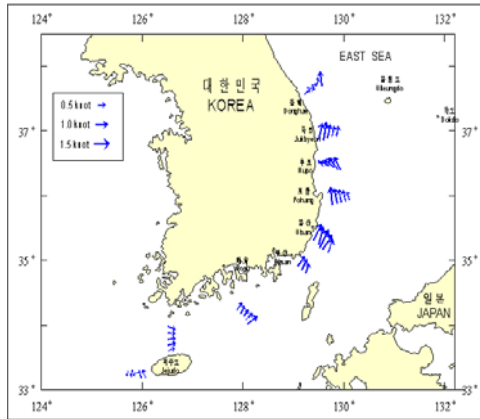


Fig. 22. Distribution of currents at each depth (2002. 10, Depth = 20 m, 50 m, 100 m).

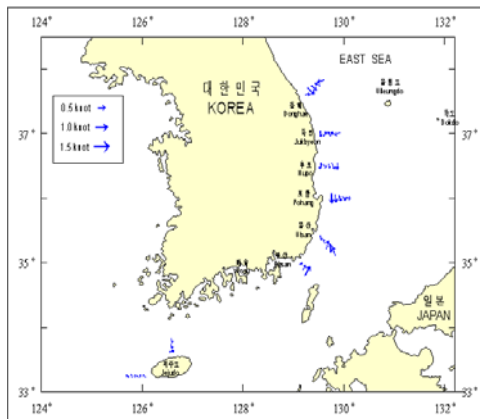
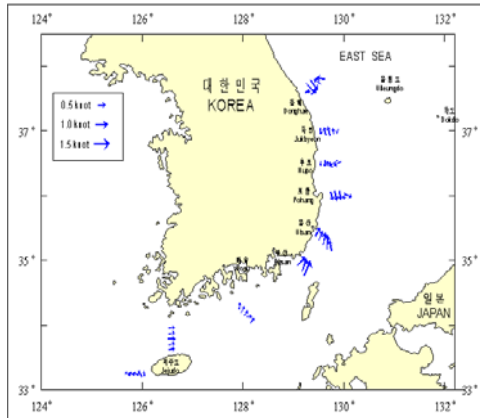
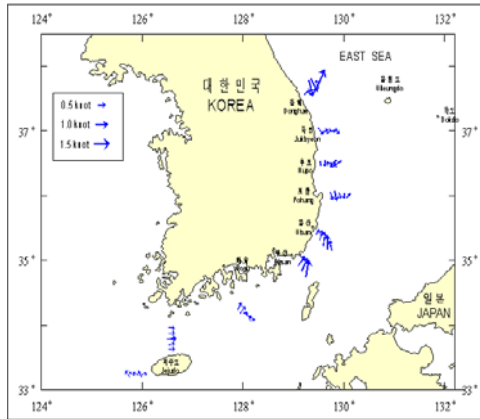


Fig. 23. Distribution of currents at each depth (2002. 12, Depth = 20 m, 50 m, 100 m).

3절 적지선정을 위한 현장조사

가. 문헌조사(위미, 간절곳)

적지선정을 위한 현장조사를 위해 한국의 지형과 해역특성을 고려하여 외해수중가두리의 설치가 용이하고 관리가 적합한 남해지역(제주도 위미)과 동해지역(간절곳)을 선정하여 외해수중양식시설의 적지분석을 위한 외력 특성 및 해역특성을 자료 및 현장 조사를 통하여 검토하였다. 서해의 경우 수심이 낮고 조류가 강하여 외해수중가두리의 설치가 어려우며, 수질 또한 상대적으로 불량하여 대상지역에서 제외.

동해에서 선택된 대상해역인 간절곳은 수심이 비교적 급히 변하고, 용승역이 발달하여 인근에 어장이 발달하며, 수질이 양호하여 지역주민의 협조와 시험어장 관리를 위한 현장 접근성이 높은 장점을 가지고 있다. 허나 태풍이 상습적으로 내습하는 경로에 위치하고 있어서 내파성능에 대한 문제점을 지니고 있음.

남해에 속한 대상해역인 제주도 위미항의 경우 제주도 남동해안에 위치하고 있으며, 수질과 지형적인 점을 고려할 때 좋은 적지를 보임. 허나 육지 유통망과의 불완전한 연계성을 고려한다면 불리한 면도 있지만, 기존 외해수중양식의 기본 패러다임을 고려할 때 청정해역으로의 고부가 수산물의 생산이라는 관점과 유통망의 세계화를 고려하면 절대적인 문제가 되지 못함. 차라리 외해양식생산품의 종합관리를 위해서는 더욱 유리한 지역이 될 것이다. Fig. 24는 간절곳 및 위미지역에 내습하는 태풍의 경로는 나타내고 있다. 대부분의 태풍경로가 남해안과 동해안에 영향을 주고 있으므로 태풍의 영향을 피하기 위한 적지를 선택하기는 어려우며, 외해수중가두리가 가지고 있는 내파성과 국소적인 지형의 영향을 고려한 설계가 이루어져야 함.

Fig. 26은 대상해역의 물리조건에 대한 설계외력자료이며, 양호한 설계를 위해서는 대상해역의 장기간 실 관측값을 이용하여야 하나 대상해역의 관측자료가 많지 않은 관계로 인근의 대규모 항만개발사업 시 적용된 설계조건을 도입하여 설계외력으로 결정하는 것이 효율적이다. 따라서 간절곳의 경우 인근 울산신항의 개발 시 사용된 설계파랑 및 흐름조건을 적용하였으며, 위미항의 경우 인근 서귀포항의 개발 시 적용된 외력조건을 이용하였다.

파랑조건은 50년 재현빈도 파랑을 대상으로 적용하였으며(해양수산부, 1988), 위미와 간절곳 각각의 지역에 영향을 줄 수 있는 심해파랑조건을 적용하였다. 적용한 결과 위미(서귀포항)의 경우 설계유의파고(H1/3)가 8.8 m이며, 주기는 12 sec이다. 간절곳의 경우 동해선풍의 영향을 받아 설계유의파고(H1/3) 6.5 m, 유의주기 14 sec의 값을 보임.

흐름의 경우 동해 간절곶의 경우 동한난류와 제주 위미의 경우 쿠로시오 해류의 영향을 받고 있으나, 설치수심을 고려할 때 해류보다는 연안 조석의 영향을 지배적으로 받게 된다. 대상해역의 설계유속은 국립해양조사원 자료를 인용하였으며, 제주 위미의 경우 동서흐름이 주 흐름방향이며 0.5 m/sec ~ 0.7 m/sec의 설계유속을 보인다. 동해 간절곶의 경우 지형적으로 남북방향의 유속이 발달하며, 0.6 m/sec ~ 0.8 m/sec의 설계유속이 발달.

여름에 위미지역의 수온이 높으며, 염분의 경우 낮은 값을 보임.

Suitable Location

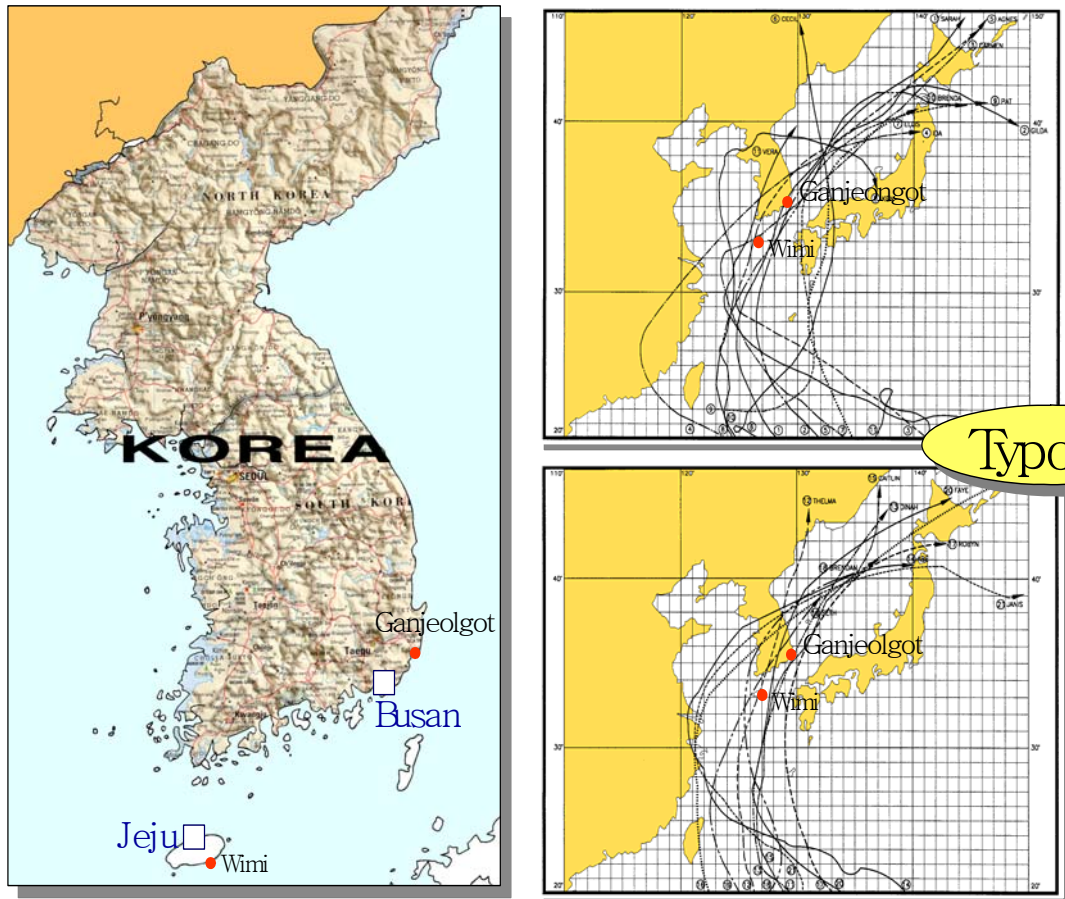
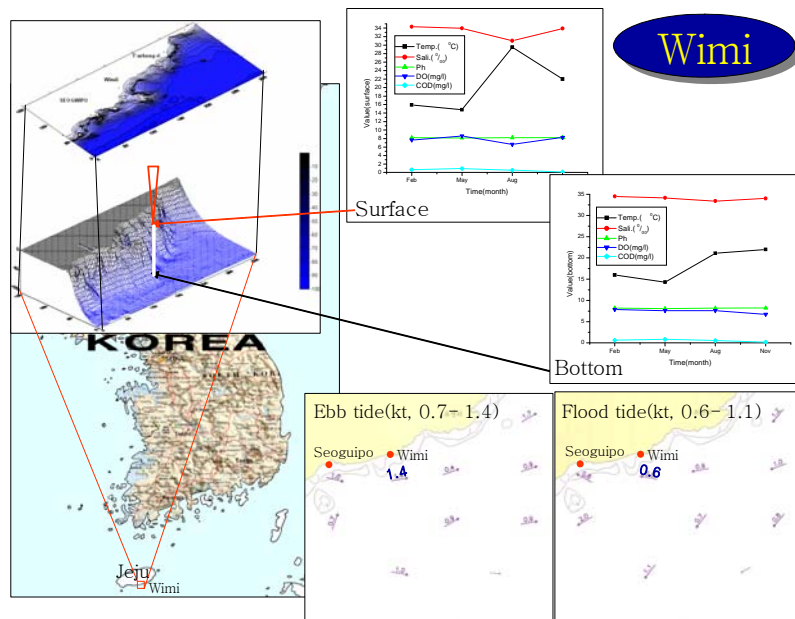
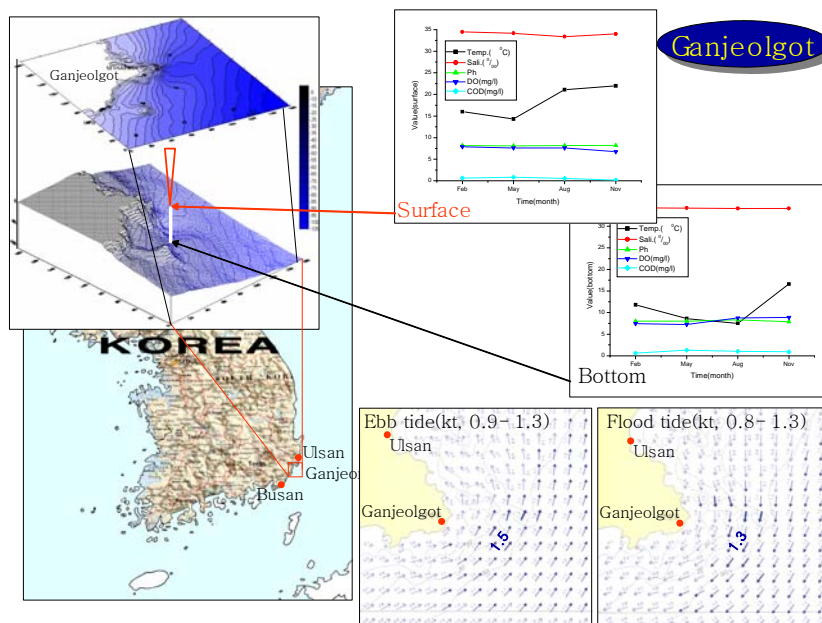


Fig. 24. Routes of Typhoons around the suitable locations.



a) Wimi



b) Ganjeolgot

Fig. 25. Design factors around suitable locations.

Comparison of Both candidate locations

Parameter (for Design of costal structures)	Wimi(Seoguipo)	Ganjeolgot(Ulsan)
Wave Period(sec)	12	14.0
Wave height(m)	8.8	6.5
Wave direction(.)	S	S
Wind speed(m/sec)	40.2	31.7
Wind direction(.)	NE	NNE
Tidal current(knot)	0.6-1.4(E-W)	0.8-1.3(S-N)
Tidal water Level(m)	3.032	0.608
Temperature (C)	Surface : 15 – 26 Bottom : 14 – 17	Surface : 14 – 24 Bottom : 11 – 13
Salinity (psu)	Surface : 32 – 35 Bottom : 34	Surface : 31 – 34 Bottom : 34
Bottom	Sand, Rock	Sand

Fig. 26. Characteristics of design parameters.

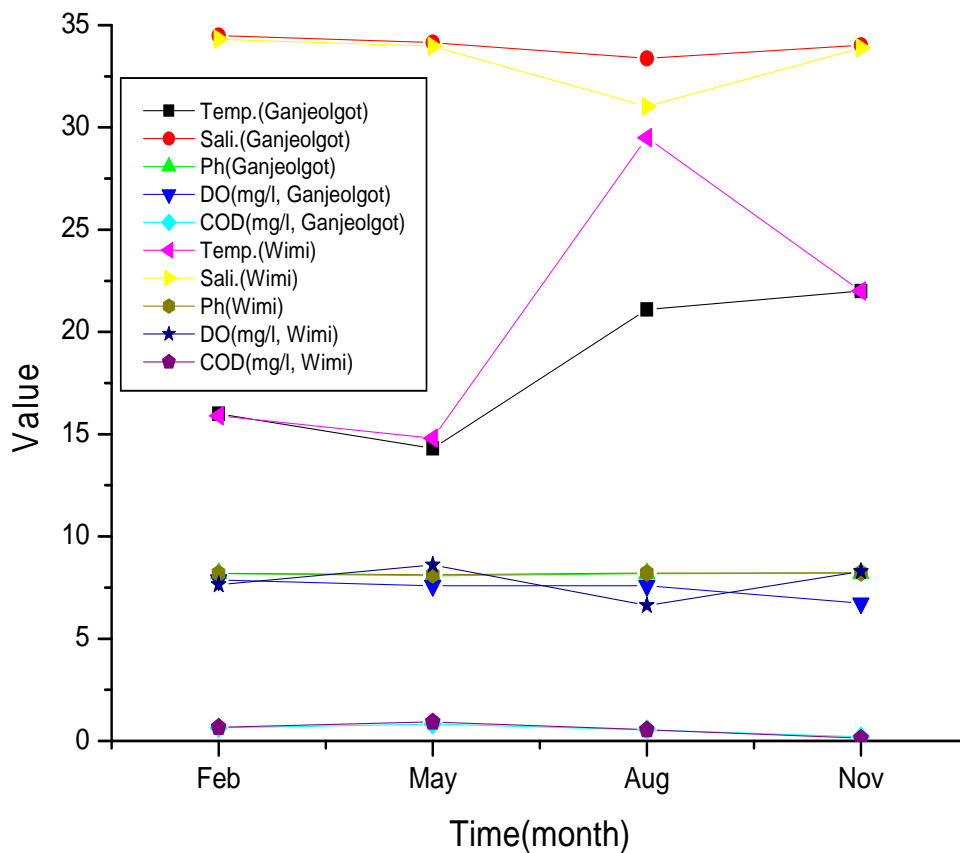


Fig. 27. Comparison of Environmental Conditions.

가. 현장조사(위미)

기초 문헌조사를 통해 제주 위미지역과 동해 간절곶 지역의 수산물리학적 특성을 파악할 수 있었으며, 실패역 현장자료 습득을 위해 현장조사를 실시하였음(2003. 9.).

현장조사는 제주도 위미지역에 대해 실시하였으며, 관측위치는 Fig. 28과 같이 파랑조사 2개 지점, 정점유속관측 1개 지점, 수질조사(수온, 염분) 5개 지점, 층별 유속 5개 지점과 측류판 추적 실험을 실시.

파랑관측은 지귀도를 중심으로 내해와 외해를 구분하여 파랑의 차폐효과를 확인하기 위해 설치하였으며, 주 흐름 방향인 동서방향에 수직으로 유속의 관측점을 배치하여 수질조사와 함께 병행.

측류판 추적은 창낙조시에 각각 실시하였으며, 3개의 측류판을 이용하여 흐름을 관측.

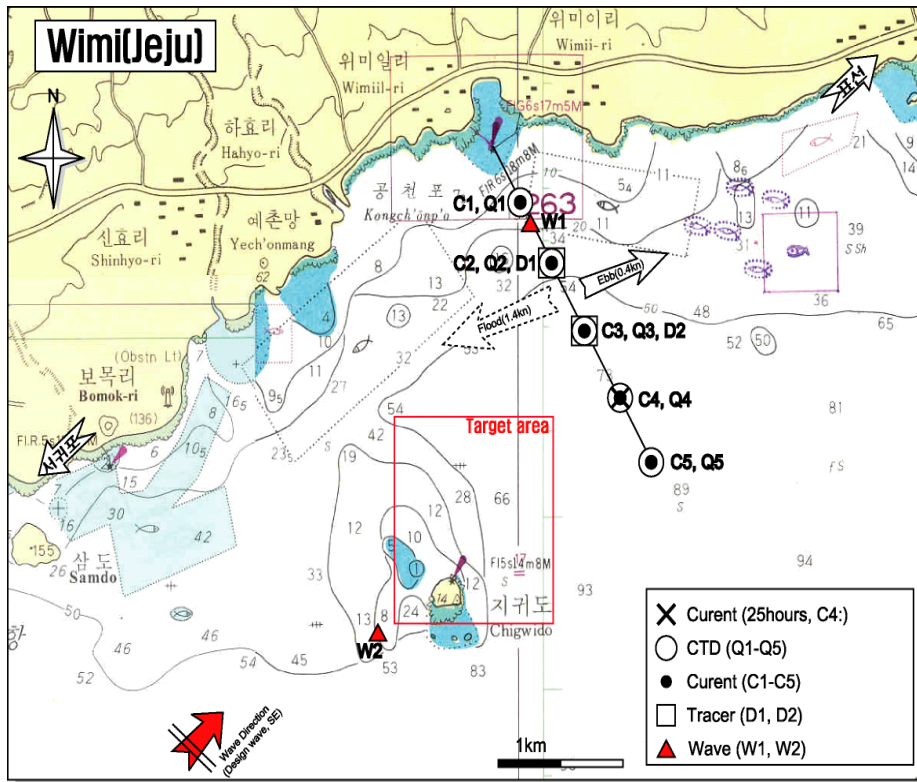


Fig. 28. Field Observation sites(Wimi).

(1) 파랑조사

파랑조사점은 W1과 W2로 표기하여 W2의 경우 외해의 관측점이며, W1의 경우 내해 영역에 해당됨. 관측수심은 동일한 12m지역에 설치. Fig. 29는 항내파고에 대한 항외파고의 실시간 비를 나타내며 대부분의 입사파랑조건이 S계열의 파랑을 나타내며, 이를 통해서 W2(항외)에 대한 W1(항내)의 파고비는 주기는 대략 0.8에서 1.0까지의 값을 보이며, 거의 유사한 값을 보이나. 파고의 경우 지귀도의 영향으로 2배에서 3배까지의 차이를 보임.

이러한 공간적인 파랑발생특성은 광역의 외해수증양식시설의 적지선정 외에 협역의 선정조건에서도 중요한 선정요소가 되며, 고파랑의 발생시 지형적인 영향으로 시설물의 안정성을 호가보할 수 있는 기술의 접목이 필요함.

Fig. 30에서 위미지역에서 발달하는 대부분의 파랑은 SW계열의 파랑이 주로 발달하고 있음을 알 수 있으며, NW계열의 북서계절풍에 의한 파랑이 발달한다. 대부분의 외해수증양식시설에 영향을 주는 파랑은 하계의 열대이동성저기압에 의한 고파랑 내습이며, 주로 S~SW계열의 파랑이 주요 설계파랑이 된다. 따라서 지귀도를 이용한 협역의 구조물 설치위치 선정이 필요함.

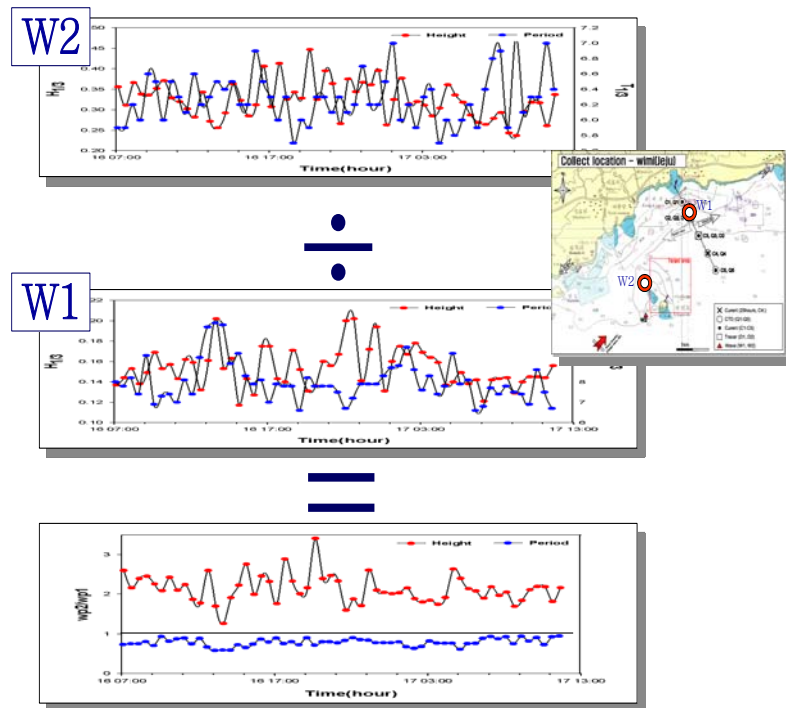


Fig. 29. Spatial characteristics of wave.

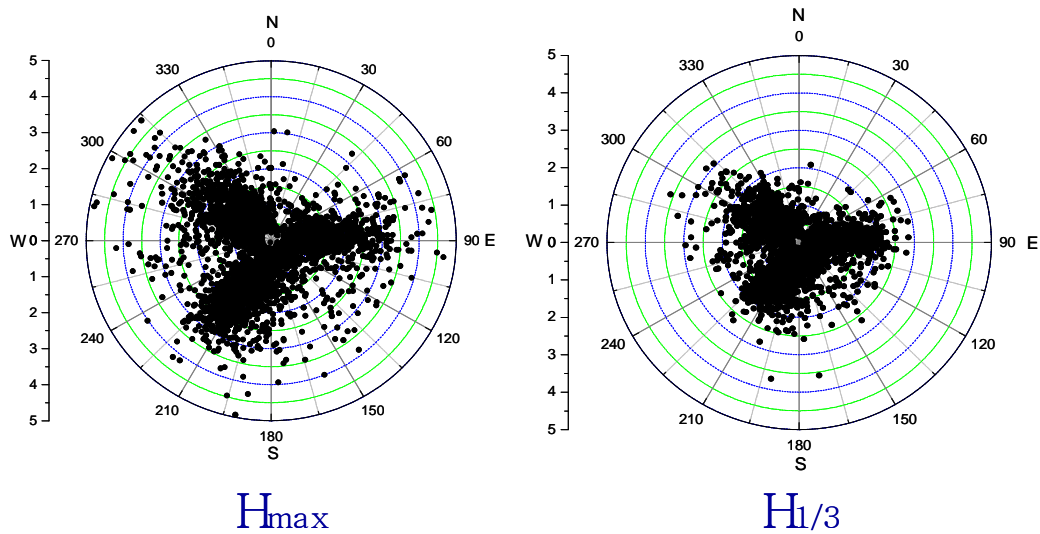


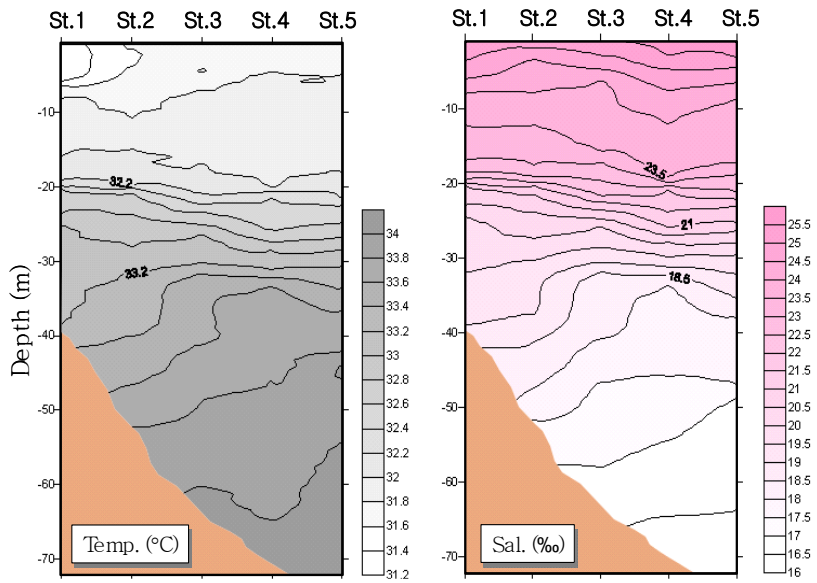
Fig. 30. Wave characteristics. (Jeju Wimi, 2002).

(2) 수질조사(수온, 염분)

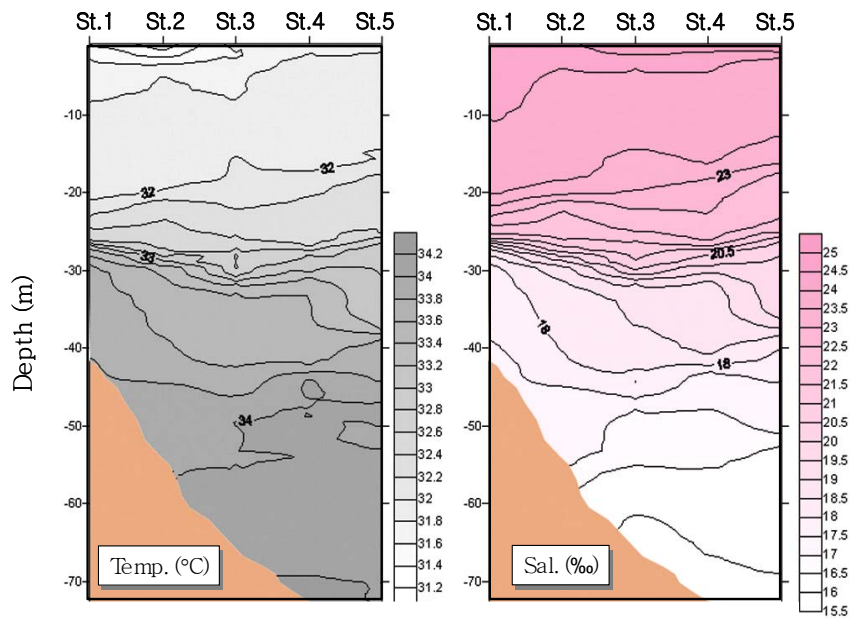
현장조사 시 수질조사는 Seabird사의 CTD를 사용하였으며, 대조기 최강 창·낙조 시에 대해 각각 전후 2시간, 4시간을 관측하였음.

Fig. 31는 창·낙조시의 수온 염분 분포를 관측지점 Q1 ~ Q5까지의 염분분포를 종단면에 대해 나타낸 것이며, 창조시에 비교적 균질한 수심별 분포를 이루고 있으며, 낙조시에는 수심 30m 부근에서 성층이 발생하고 있다. 이는 창·낙조시의 유속 분포인 Fig. 32와 함께 검토 할 때 좀더 명확한 성층의 원인을 알 수 있음.

창조시의 수온 및 염분분포는 전수심에 대해 수평흐름으로 인해 연안방향으로 유속이 발달하며, 이로 인해 수온 및 염분의 분포는 수심에 비교적 균등한 분포를 보이며, 낙조시에는 수심 30 m를 부근을 중심으로 상부의 경우 연안방향, 하부의 경우 외해방향으로 이동하는 단면적인 흐름특성으로 수온 및 염분의 분포가 성층을 이루고 있음.



a) Flood tide



b) Ebb tide

Fig. 31. Sectional distribution of Temp. and Sal. Between Both candidate locations(Wimi, 2003).

(3) 유동(조류)

위미항 지역의 조류관측은 C3 지점에서 25시간 정점관측을 실시하였고, C1 ~ C5 지점까지 시간별로 관측을 실시하여 종단 관측을 하였음.

오일러적인 유속관측과 함께 라그랑지적인 관측을 위해 측류판 추적을 함께 실시하였으며 측류판 3개를 이용하여 각각 창·낙조시에 대하여 관측을 실시하였음.

Fig. 32는 창낙조시의 C1에서 C5까지의 종단면에 대한 유속 분포를 나타내고 있으며, 창조시에는 연안방향으로 전 수심에 대해 수평한 흐름이 진행하고 있으나, 낙조시에는 수심 30m 부근을 중심으로 상부의 경우 연안방향, 하부의 경우 외해방향으로 이동하는 흐름특성을 보였다. 이러한 특징은 Fig. 34의 측류판 추적실험과 비교하며 비교적 명확하며, 대부분의 측류판이 해안에 수평방향으로 왕복하고 있으며, 연안의 관측점의 경우에는 창낙조시 모두 연안방향으로 이동하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 33은 C3지점에서의 층별 조류타원도를 나타내고 있음.

대부분의 유속은 60 cm/sec 이내였으며 낙조시에 유속이 강하였다. 이는 전술한 해양조사원자료와 유사한 경향을 보이거나 값에서는 차이를 보인다. 보다 장기적인 관측자료(15일 정점관측 이상)를 이용한 현장자료가 필요할 것으로 보임.

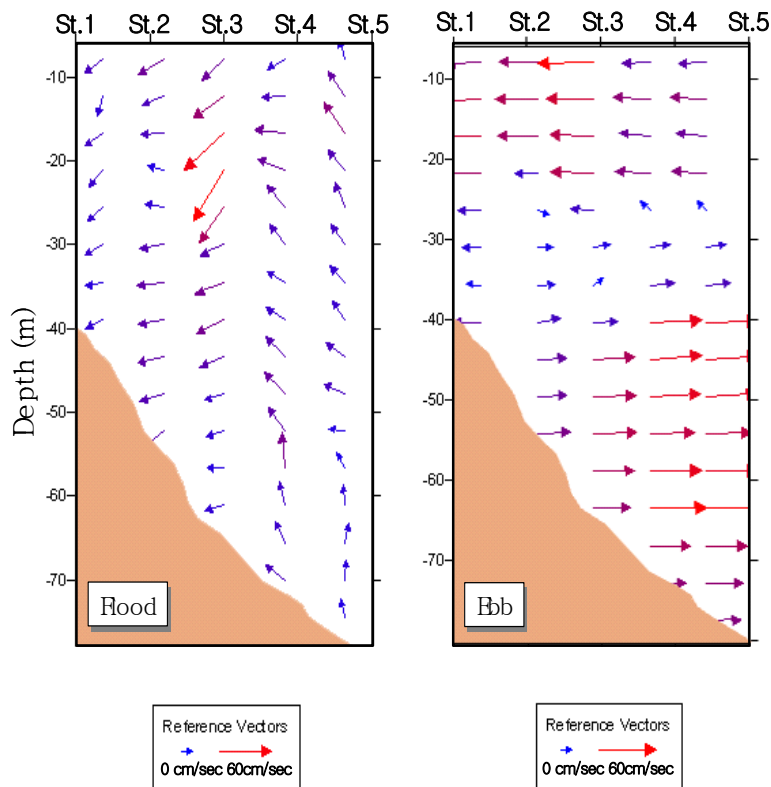


Fig. 32. Sectional current profile.

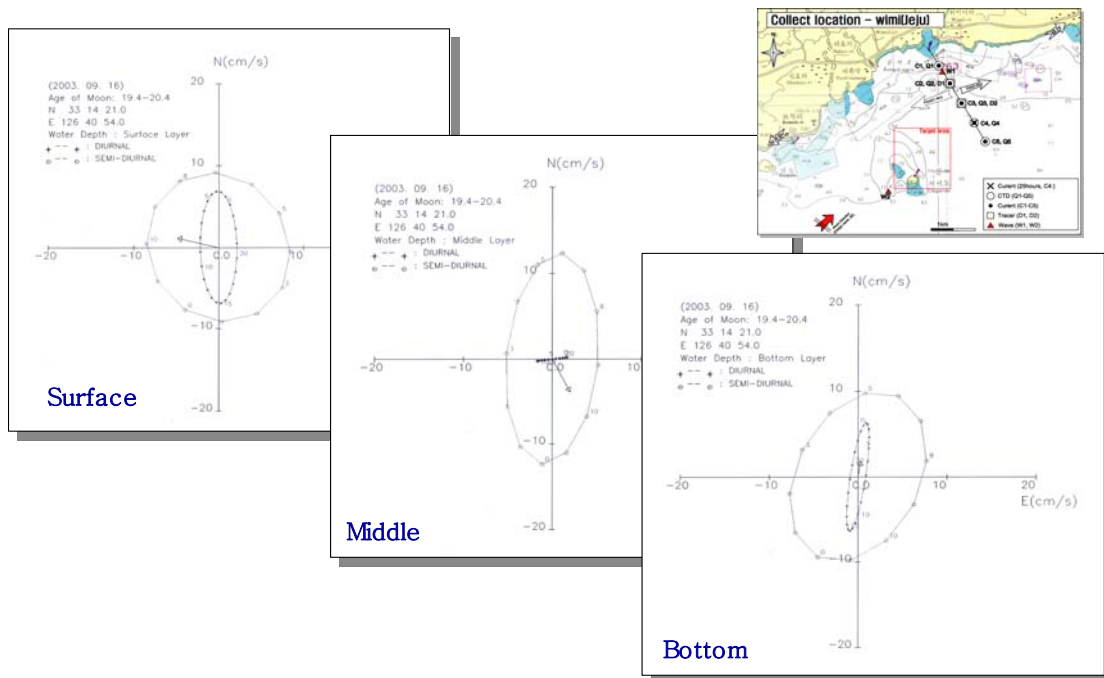


Fig. 33. Tidal ellipse at each layer.

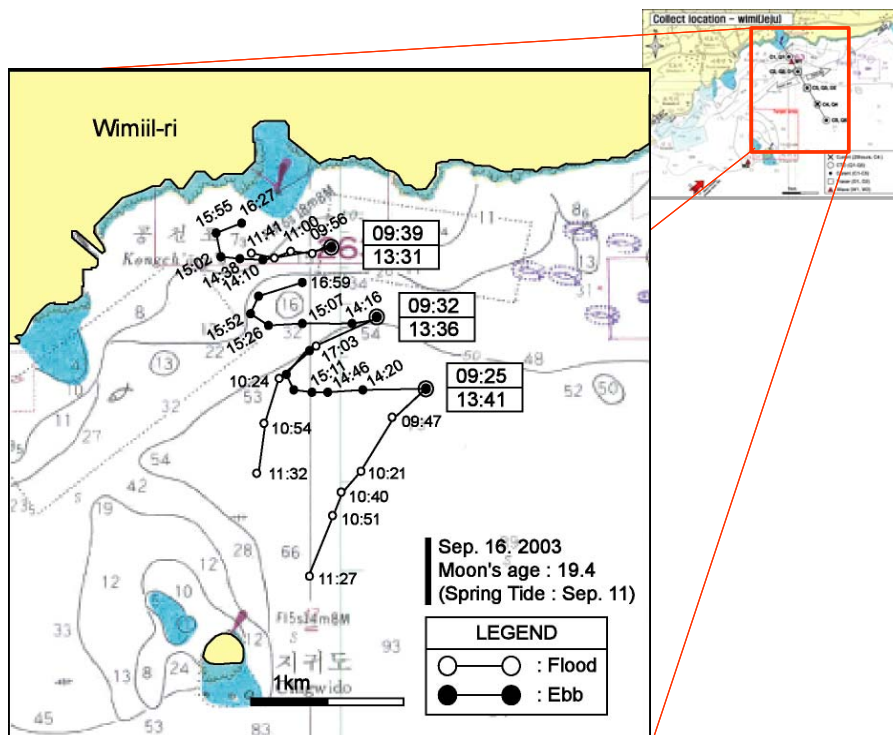


Fig. 34. Floating tracer observation(Jeju wimi, 2003. 9. 16).

3절 외해수증양식시설의 설계

1. 설계외력인자(파랑, 흐름)

가. 하중

외해수증양식시설에 작용하는 외력은 수직으로 작용하는 정적 하중과 수평으로 작용하는 동적 하중이 있으며, 정적 하중은 프레임의 상부 구조물, 가두리 망, 그물 및 로프류에 붙은 해조류의 부착 정도, 장비, 작업인부 등의 무게로 이는 가두리시설의 부력을 결정하는 데 중요한 요소가 된다. 또한, 정적 하중은 프레임에 작용하는 파력 및 풍력과 가두리망에 작용하는 항력에 의해서 야기되며, 이는 구조부재 및 계류시스템을 설계하는 데 있어 매우 중요하다.

(1) 정적 하중 (수직 하중)

- 프레임의 자중 및 부력
- 가두리 망의 자중
- 침자의 자중

(2) 동적 하중(수평하중)

(가) 프레임에 작용하는 파력

가두리시설의 프레임에 작용하는 파력 F의 계산은 식 (1)에 의하여 구할 수 있음. (M.C.M.Beveridge, 1987)

$$F = k \rho v^2 A \quad (1)$$

단, k= 무차원 상수=1.0

ρ = 해수의 밀도=105kg^w *sec²/m⁴

μ = 파입자 궤도속도의 수평성분(m/sec)

A= 프레임의 면적(m²)

식 (2)에서 우선 파입자 궤도속도의 수평성분 μ 를 구하기 위하여 Muir wood등 (1981)의 식을 이용한다.

$$\mu = \frac{\pi H}{t} \cdot \frac{\cosh(2\pi(z+h)/L)}{\sinh(2\pi h)/L} \cos\theta \quad (2)$$

여기서, H : 파고(m), t : 주기(sec), L : 파장(m), h : 수심(m),

Z : 평균수면으로 부터의 거리, θ : 시설물에 대한 파향

이며, 이 식은 $0.04 < \frac{H}{L} < 0.5$ 일 경우에만 적용 가능하다.

(나) 가두리망에 작용하는 항력(흐름)

가두리망에 작용하는 항력은 Kawakami(1964)의 식(3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho v^2 S \quad (3)$$

여기서, C_D : 항력계수

ρ : 해수의 밀도 = 105 kg/m^3

S : 그물감의 투영면적 (m^2)

v : 유속 (m/sec)

이다.

먼저, 식(3)에서 가두리망의 항력을 계산하기 위해서는 항력계수 C_D 를 알아야 하므로 식(4)를 이용하여 이를 구한다(Miline, 1970)

$$C_D = 1 + 2.73 \left(\frac{D}{L}\right) + 3.12 \left(\frac{D}{L}\right)^2 \quad (4)$$

여기서, D : 그물실의 직경(mm)

L : 그물코의 발의 길이(mm)

이다.

계산상 가두리망의 항력계수 C_D 는 1.27이지만 실제 어장에 시설된 가두리망의 경우 시간이 경과됨에 따라 그물코에 해중 생물이 부착되어 그물코가 막히는 현상이 자주 일어나므로 가두리망의 항력을 계산할 경우 부착 생물의 영향으로 인한 항력의 증가를 반드시 고려해야 하며, 증가율은 계산상 항력계수의 2배이다.(M. C. M. Beverige, 1987).

망지의 투영면적 S 는

$$S = \frac{D}{L} a \cdot b \quad (5)$$

이다.

단, a : 망지의 QJecls 길이(m), b : 망지의 뻗친 폭(m)이다.

2. 계류시스템

가. 계류형식

외해 양식시설의 설계에 있어 가장 중요한 부분은 계류시스템이다. 따라서 계류 시스템을 설계할 경우 계류 방식, 앵커의 종류, 계류사의 구성 방법, 계류사의 길

이 등을 고려하여야 한다. 부유식 해양 구조물이나 수산 시설물을 일정한 위치에 유지시키기 위한 계류 방식에는 고정식 구조물 방식, 다점계류 방식, 일점계류 방식, 다이나믹 포지셔닝 방식 등이 있다.

고정식 구조물 방식은 선박의 계류에 적합한 방식으로 항만의 계류시설인 계선 안벽, 선창, 부유식 선창등의 항만 구조물이며, 다점계류 방식은 해양 구조물을 정점에 정확히 유지시키는 계류 방식으로 수산 시설물의 계류에 가장 많이 이용되고 있다. 다점계류 방식은 외해 구조물의 계류에 적합하나, 계류시 소요 면적이 전시설 면적의 20% ~ 30%를 차지한다. 일점계류 방식은 석유 하역에 많이 사용되는 방식이며, 사각형 구조물의 계류에 적합하나 계류시 구조물이 회전을 한다. 일점계류 방식은 다점계류 방식보다 계류삭 및 체인이 적게 사용되며, 계류시 소요 면적이 전시설 면적의 2% ~ 4%만 차지하기 때문에 시설의 공간 활용에 있어 효율적이거나 계류력이 작은 단점이 있다. 다이나믹 포지셔닝 방식은 구조물의 추진기나 보조 추진기를 작동 제어함으로써 위치 유지를 행하는 방식으로 수심의 제한으로 인해 널리 이용되지 않고 있다.

계류삭은 시설물을 유지시키는 동시에 시설물에 작용하는 하중을 앵커로 전달하는 역할을 한다. 계류 기초인 앵커는 수평력(해저면에서의 접선각 $\theta > 0$)을 대상으로 하여 계류삭을 현저한 연수곡선 형태로 만들어 앵커의 파주력을 증대시킨다. 중간 부자는 중간 침자의 질량을 지지하고, 계류삭에 전달되는 동적 하중의 수평 성분을 감소시킨다. 따라서, 계류삭에 충격 하중이 작용하는 경우 중간 부자와 중간 침자는 스프링과 같이 에너지를 흡수하는 역할을 한다.

한편, 계류삭의 길이는 일반적으로 해당 해역 수심의 3배 이상이므로 중간 부자의 필요 부력, 앵커의 소요 중량 및 계류삭의 직경을 계산하여야 한다.

가. 중간 부자의 필요 부력

부상식 및 부침식 가두리시설을 사개로 연결하여 1조일 경우 중간 부자의 필요 부력 F_{ua} 는 식(6)과 같다. (**, 1985)

$$F_{ua} > \frac{n F_h}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

여기서, L_a : 계류삭의 총길이(m)

h : 수심(m)

F : 가두리에 작용하는 수평설계 하중

n : 연결 가두리 수=1조

나. 앵커의 소요 증량

거친 해황조건에서 해양 구조물 또는 수산 시설물을 유지시키기 위해서는 앵커의 소요 증량을 아는 것은 매우 중요하다. 여기서는 식 (7)을 이용하여 앵커의 고정력 H' 를 계산한 후 이를 근거로 하여 앵커의 소요 증량을 계산할 수 있다.

$$H' = kW = T \cos \theta \quad (7)$$

여기서, k : 고정계수

W : 앵커의 수중무게

T : 계류삭에 작용하는 장력

θ : 해저와 계류삭과의 각도

이므로, 먼저 계류삭에 작용하는 장력을 식(8)에 의해 구하면

$$T = \frac{H'}{\cos \theta} \quad (8)$$

과 같다.

3. 설계외력의 산정(파랑, 흐름)

가. 천해설계파랑(풍파)의 산정법

일반적으로 바람에 의한 풍파를 산정하는 방법은 유의파법과 spectrum법이 있으나, 실제로 해안의 파랑을 산정하는 데는 유의파법이 주로 사용된다. 이 방법은 Sverdrup-Munk에 의해서 제안된 유의파의 개념을 사용하여 바람과 파랑의 관계를 표현한 것이며, 그 후 Bretschneider (1958)에 의해서 보정되어 S-M-B법이 수립되었다.

S-M-B법은 심해파의 유의파고, 주기와 풍속, 취송시간 및 취송거리의 관계를 무차원적으로 표시한 것이며, 풍역이 이동하지 않을때에 대한 것이다. 천해파에 대해서는 Thijsse 및 Bretschneider등에 의해서 연구되었다.

이후, Wilson (1961)은 풍역이 이동하는 경우 심해파의 발달과정을 도식적으로 구하는 방법을 발표하였으며, 이것이 소위 H-t-F-T도이다. 井島 (1960)등은 풍역이 이동하는 경우, 천해파가 발달하면서 진행되는 과정을 Wilson의 방법과 동일한 방법으로 도식적으로 구할 수 있는 H-t-F-C₀도를 작성하였다.

심해에서의 풍파의 형성은 주로 바람에 의한 마찰력과 파와 파간의 상호간섭 그리고 쇄파(white capping) 현상 등에 의한 1차 에너지 손실에 의하여 이루어진다. 이러한 심해역에서의 파의 변이를 해석할 때 굴절, 회절, 및 마찰손실 등에 의한 천해역 현상은 무시할 수 있으며, 풍파의 형성은 주로 바람조건에 좌우된다. 그러나 파랑이 천해역으로 들어오게 되면 천수, 굴절, 회절 및 마찰손실 등에 의하여

급격히 변형된다. 따라서 천해 파랑산정에는 풍파의 생성과정과 백파(white capping) 등에 의한 에너지 감쇄효과 뿐만 아니라, 굴절, 회절, 천수효과 등에 대한 고려도 충분히 이루어져야 한다. 일반적으로 천해역에서 발생하는 파랑의 변형 특성을 반영하기 위해 불규칙파를 스펙트럼파로 해석하는 기법을 사용하여 천해파랑을 재현하고 있다.

해안구조물의 설계외력조건은 태풍내습으로 인한 풍파가 주로 적용된다. 특히 우리나라 남·동해 연안의 개발이나 구조물 설치를 위한 천해파랑산정은 Fig. 35의 과정에 의해 산정된다. 요약하면, 태풍의 내습시 예측된 대기압분포도(일기도)를 바탕으로 파랑발달에 영향을 끼치는 풍향, 풍속, 최대 풍역반경 등의 파라미터를 산정하여, 풍파의 추산방법에 의해 천해역의 설치대상 지점까지 파랑을 추산하게 되며, 산정과정상의 검증을 위해 산정된 심해파 제원을 관측값과 비교하는 과정을 갖는 것이 바람직하다.

이상의 파랑추정 방법은 주로 태풍의 풍역이 육지와는 먼 외해에 위치할 때의 심해 파랑환경을 재현하고 있다. 그러나 이러한 심해파 산정결과를 입사조건으로 한 천해파 산정은 천해역에 작용할 수 있는 태풍의 영향을 고려하지 못한다는 단점이 있다. 더우기 태풍의 풍역이 천해역에 직접영향을 미치는 경우에는 이상과 같은 한계가 더 크게 작용한다. 또한 심해파랑 산정과정까지 계산시간이 많이 소요되며, 초기 계산입력치를 결정하는 근거인 일기도에서 태풍특성인자를 득취하는 과정에서 개인적인 오차가 발생할 가능성이 크고, 산정된 심해파 조건의 천해적용시 추가적인 파랑변형모형실험이 부과되어야 한다.

기존의 천해파 산정 수치모형은 천해역의 지형적 특성에 의한 파랑변형만을 산정하므로, 태풍내습으로 인해 천해역에 작용하는 바람장의 영향은 천해파 산정과정에서 고려되지 못하였다. 그러므로 태풍내습 시 천해역의 파랑을 추정하기 위해서는 심해의 입사파랑 조건뿐만 아니라 대상해역에 작용하는 바람장 특성을 고려하는 산정방법의 도입이 필요하다.

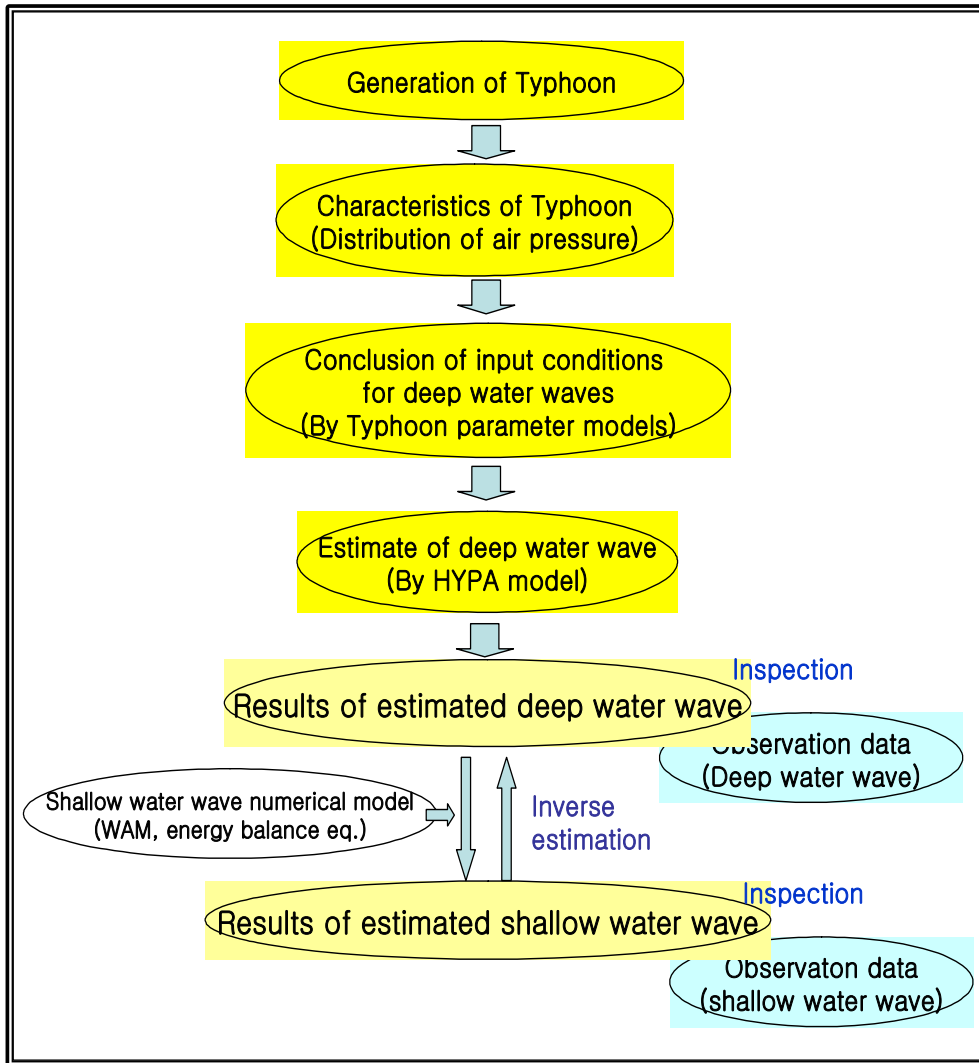


Fig. 35. Flow of shallow wave calculation.

(1) Bretschneider법

천해역의 파랑은 해저마찰과 쇄파에 의해 외해에서와 같이 큰 파랑으로 발달하지 못하고, 수심에 대응한 일정 한도 이상으로는 되지 않는다. 천해역에서의 감쇠과정을 표현하는 연구결과들이 발표되고 있으나, 충분한 성과를 보이고 있다고 할 수 없다. 그럼에도 불구하고 Bretschneider는 실용적 관점에서 다음과 같은 추산법을 1954년에 제안하였고, 현재까지도 사용되고 있다.

그는 천해역의 파랑변형을 바람으로부터 공급받는 에너지와 해저마찰에 의한 손실로 나누어서 생각했다. 대상으로 하는 풍역을 몇 개의 구간으로 나누어, 각 구간마다에서 최대파고의 증대분 ΔH_+ 를 SMB법으로 구하고, 한편으로는 파랑이 그 구간을 진행할 동안에 해저마찰에 의해 발생하는 파고의 감쇠분 ΔH_- 를 식 (0-00)

에 의해 구하여, $\Delta H_+ - \Delta H_-$ 를 그 구간 종단의 파고 증대분으로 한다. 이 때 해저마찰로서 실측치와의 비교계산에 의해 $f=0.001$ 의 값을 권장하고 있다. 이렇게 하여 Bretschneider는 일정수심일 경우 및 일정한 경사를 가진 천해역에 대한 취송거리 도표를 작성하였다.

천해파의 주기를 구하기 위해서는 충분히 발달한 파랑에 대한 관측 결과에 기초한 다음 식을 적용해 볼 수 있다.

$$T_{1/3} = 3.86 \sqrt{H_{1/3}} \quad (9)$$

(2) 풍역이 이동할 경우의 파랑 추산법

전술한 Bretschneider의 방법은 풍역이 급격하게 변화하는 경우에는 적용하기 어려우므로, 坂本·井島는 Wilson의 심해 풍파에 대한 추산도를 천해역에 확장, 응용할 수 있도록 하였다. 또 井島는 계산기를 사용한 평면적인 풍역내의 파랑 추산 방법을 개발하기 위하여 에 나타낸 천해역의 취송거리도표를 다음과 같이 수식화하여 계산에 편리하도록 하였다.

$$\frac{g H_{1/3}}{U^2} = 0.30A \left[1 - \frac{1}{\{1 + 0.004 (gF/U^2)^{1/2}/A\}^2} \right] \quad (10)$$

$$A = \tanh \left[0.578 \left(\frac{-gh}{U^2} \right)^{3/4} \right] \quad (11)$$

$$B = \tanh \left[0.520 \left(\frac{-gh}{U^2} \right)^{3/8} \right]$$

파랑은 풍역내의 임의의 점에서 임의의 시각에 출발하여, 각 시점의 도달위치의 풍향에 따라 진행되는 것으로 생각한다. 파랑이 진행해온 방향과 풍향이 각도 θ 만큼 다른 경우에는 파고가 $H_\theta = H \cos \theta$ 로 감소한다고 가정하여 계산을 계속하며, 주기는 변하지 않는 것으로 가정하였다. 이런 방법을 기본으로 많은 연구자가 천해역의 다양한 풍역 변화에 대한 파랑추산의 정도 향상을 위한 연구를 진행하고 있으나 문제점이 많다고 할 수 있다.

(3) 태풍을 고려한 천해파 수치실험 모형

최근 우리나라에서는 HYPAMODEL과 Wilson모델, SMB모델 등을 사용하여 해역별 심해파를 추정하고, 이를 구조물 설계를 위한 심해파 제원으로 사용하고 있다. HYPAMODEL은 풍파모델(wind wave model)과 너울모델(swell model)에 대한 복합모델이며, 해상풍의 변화와 해상조건에 따라 유기적으로 해상상태를 파악하도록 고안되었다. 그러나, HYPAMODEL은 심해에서 적용가능한 모형으로 천수, 굴절, 해저마찰 등의 천해효과가 무시되기 때문에 우리나라 남해나 서해와 같은 천해역에서는 적용이

어렵다(해양수산부, 1999: 해상파랑관측 및 조사). 그러므로 수심의 효과가 작용하지 않는 영역까지의 파랑추정은 HYPA모형을 사용하고, 천해역으로의 파랑에너지 전파는 별도의 천해파 산정모형을 사용하여 추정하고 있다.

SWAN모델은 수치파랑모델로서 주어진 바람, 해저면 및 해류조건으로부터 연안역, 호수 및 하구의 파랑을 계산한다. 이 모델의 기본방정식은 파랑작용의 평형방정식(wave action balance equation)이며, 수심과 흐름에 따른 굴절현상, 천수현상, 반대방향 흐름에 대한 파랑의 반사 등의 파랑전파 과정이 고려된다. 또한 모델에서 고려되는 원천항(source term)은 바람에 의한 파랑에너지 생성, 백파(white capping), 쇠파(shallow water wave breaking), 저면 마찰(Bottom friction)에 의한 에너지 소산, 비선형 상호작용에 의한 에너지 교환 등이 있다. 그러나 태풍파랑의 산정이라는 측면에서 SWAN모델은 풍역이 일정할 경우에 대한 풍파는 계산이 가능하나 풍역을 벗어난 너울(swell)의 고려에는 한계가 있다.

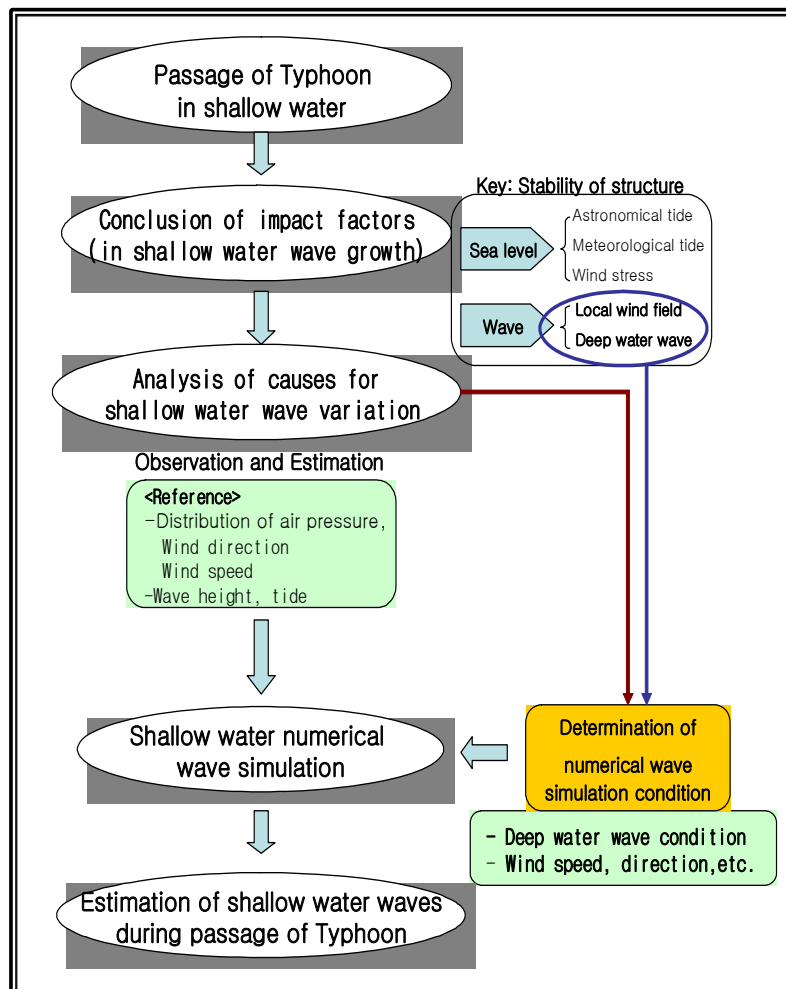


Fig. 36. Study flow.

나. 파랑변형 모형의 특징

(1) Stokes 파랑식

- 심해나 중간수심해역에서 파랑의 변형을 비교적 정확히 예측.
- 지배방정식- 비압축성 유체 · 비회전류의 연속방정식인 Laplace 방정식이고 수면상의 비선형 경계조건과 바닥 경계조건을 사용하고 수심적분하여 유도. 식을 유도하는 과정에서 수심의 변화가 완만하다고 가정하여 수심경사의 제곱의 항($0(\nabla h)^2$)과 곡률의 항($0(\nabla h)^2$)을 무시하여 구한 식을 완경사방정식 (Mild-Slope Equation)이라고 부른다.

(2) Boussinesq 방정식

- 두 개의 매개변수가 $0(a/h) \cong 0(kh)^2$ 의 관계를 만족시킬 때 개발된 천수방정식으로서 Boussinesq식은 수심이 일정한 경우에 Boussinesq(1877)가 처음 개발하였고 수심의 변화가 있는 경우에 Peregrine(1967)이 개발.
- 현재까지 개발된 식 가운데 가장 정확하고 널리 사용되고 있다. 이 식을 유도하는 과정에서 급수전개기법을 사용하여 파의 압력 또는 속도의 수직적인 변화를 고려하였고 섭동법을 써서 $((a/h, (kh)^2)$ 까지 정확히 해석할 수 있는 비선형의 식을 개발하였다.
- 수심적분한 연속방정식과 운동량 방정식으로 구성되어 있고 파랑의 약한 비선형성(Weakly Nonlinear)과 약한 분산성(Weakly Dispersive)이 고려.
- 조석파나 쓰나미의 변형을 예측하거나 쇄파현상을 규명하는 경우와 같이 수심이 얇고 파고가 큰 영역에 Boussinesq식을 사용하면 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있다. 반면, 이식은 수심이 깊을수록 그 정확도가 떨어지는 단점이 있다.
- Boussinesq 식에 약한 분산성을 나타내는 항을 무시하면 Airy의 천수방정식이 된다. 수평면상으로 1차원으로 전파하는 진행파의 경우 Boussinesq 식으로부터 Korteweg-de Vries (kdv) 식(Korteweg와 de Vries (KdV) 식(Korteweg와 de Vries, 1895)을 얻을 수 있다. 이 식에서 불변형의 파랑인 크노이델파(Cnoidal Wave)가 재현되는데 이파는 주기가 무한히 클 때 고립파(Solitary Wave)가 되고 파고가 무한히 작을 때 선형의 정현파(Sinusoidal Wave)가 된다. 진행파가 수평면상 2차원에서 한 방향으로 집중적으로 전파하고 그 주기가 유한한 경우에 유도되는Kadomtsev-Petviashvili (KP)식(Kadomtsev와 Petviashvili, 1970)이 있다.
- 최근에, Boussinesq 식이 깊은 수심에서 정확도가 떨어지는 문제점을 최소화하려는 시도가 있었다. 첫 번째로 기존의 Boussinesq 식 가운데 운동량방정식에

보정항을 가미하여 도출되는 분산식이 선형 분산식에 더 가까워지도록 하는 것이 있다.(Nwogu, 1993). 세 번째로 Isobe(1994)는 변수분리법을 사용하고 수직 분포함수로서 다항함수를 사용하여 비선형 환경사방정식을 개발하였다. 그러나, 이러한 식들도 중간수심해와 심해에서는 환경사방정식보다 정확도가 떨어지는 실정이다.

(3) 에너지방정식

- 에너지이송방정식은 파랑의 위상에 대한 정보는 무시한 채 파랑의 에너지 스펙트럼이 수심의 변화에 따라 굴절하면서 파향선의 방향이 바뀌고 굴절 및 천수 효과로 스펙트럼의 크기가 달라지는 현상을 예측하는 모형식
- 파랑의 회절과 반사 현상을 예측할 수 없는 한계. 이 식은 Karlsson(1969)이 처음 개발하였고, 바람으로부터 파랑의 에너지가 생성되고 또한 소멸되는 현상을 예측하는 WAM(WAVE Model) 모형 가운데 소위 제3세대 WAM 파랑모형에서 많이 연구되고 있다.(Cavaleri 등, 1989).

(4) 환경사방정식

- Berkhoff(1972)가 개발한 환경사방정식은 규칙파의 경우에 유도된 타원형의 식과 같은 정확도를 유지하면서 시간에 따라 파랑이 전파되는 현상을 재현할 수 있는 쌍곡선형 환경사방정식이 개발되었다.(Nishimura 등, 1983; Copeland, 1985). 한편, 주파수폭이 좁은 불규칙파가 전파할 때 파군이 균속도로 전파하는 현상을 재현할 수 있는 쌍곡선형 환경사방정식이 개발되었다(Smith와 Sprinks, 1975; Radder와 Dingemans, 1985; Kubo 등, 1992; Lee, 1994). 불규칙파의 변형을 예측하고자 할 경우, 전체 입사파의 스펙트럼을 주파수폭이 좁은 몇 개의 스펙트럼 군으로 나눈 뒤에 각 스펙트럼 군 별로 불규칙파를 해석할 수 있는 모형을 사용하여 해를 구하고 이를 중첩하는 방법이 각각의 주파수 별로 해를 구하고 이를 중첩하는 것보다 계산시간 상으로 더 경제적이라는 주장이 있다(Lee와 Pyun, 1995; Suh 등, 1997).
- Booij(1981)는 Berkhoff(1972)의 식에 실험적으로 도출한 비선형 분산식을 이용하여 비선형 효과를 가미하였고, Kirby와 Dalrymple(1983)은 선형의 환경사방정식에 파의 방향이 미리 지정한 방향과 큰 차이가 없을 때 적용가능한 3차의 비선형 항을 부가하여 비선형 포물선형 식을 개발하였다. Kirby 등(1992)은 Radder와 Dingemans(1985)의 식에 이 비선형 항을 부가하여 비선형 쌍곡선형 식을 개발. 최근 Nakada 등(1994)은 Galerkin방법을 사용하여 심해에서부터 천해까지 전 수심에서 선형 분산식을 만족시키는 비선형 환경사방정식을 개발하였다.

◦ Ebersole(1985)은 Berkhoff(1972)의 식으로부터 도출될 수 있는 Eikonal 식과 에너지전송식과 또한 파수의 비회전성을 이용하여 심해에서의 파고, 파향, 주기가 주어졌을 때 천해로 전파함에 따라 근사적으로 해를 구하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 해석할 영역이 넓어도 계산시간이 짧은 장점이 있으나, 반사파를 고려할 수 없고 회절효과가 큰 경우 파랑변형을 정확히 예측하지 못하는 단점이 있다. Chae과 Jeong(1992)은 파랑과 해류가 공존하는 경우에 개발된 Kirby(1984)의 식에 Ebersole의 방법을 적용.

1) 쌍곡선형

쌍곡선형 식은 잔잔한 상태에서 시작하여 조파선에서 파가 생성되고 이 효과가 전 영역에 미치는 정상상태에 이르렀을 때 해를 구한다. 매 시간마다 경계조건이 주어져야 하는데, 파의 에너지를 창출하기 위해서 임의의 조파경계조건이 필요하고, 육지와 만나는 경계에는 임의의 반사율을 가미하여야 하고, 공간적인 계산영역의 경계에는 이에 도달하는 파의 에너지가 영역 밖으로 빠져 나갈 수 있어야 할 것이다.

현재까지 개발된 조파경계에는 첫 번째로 계산영역의 경계나 영역 내에 임의로 값을 지정하거나(Dirichlet Boundary Condition) 그 값의 변화율을 지정하는 (Neumann Boundary condition) 외부조파 경계조건이 있고, 두 번째로 계산영역 내에 임의의 값을 더해주는 내부조파 경계조건(Larsen과 Dancy, 1983; Madsen과 Larsen, 1987; 윤성범 등, 1996; 이창훈, 1997; 이창훈, 1998)이 있다.

외부조파기법을 사용할 경우 그 경계에 도달한 파가 그대로 통과하지 못하고 부딪쳐서 수치적으로 문제가 발생할 가능성이 있다. 반면, 내부조파기법을 사용할 경우 이 경계에 도달한 파는 그대로 통과하고, 또한 조파경계에서는 원하는 파의 에너지가 만들어져 해안공학자에게 유용하다. 단지 이 기법은 Peregrine(1967)의 식, Copeland(1985)의 식, Radder와 Dingemans(1985)의 식, Suh 등(1997)의 식, Kirby(1984), Lee(1998)의 식에만 적용되어 현재까지 보편적으로 쓰이지 못한 실정이다.

Abbott 등(1984)은 Peregrine(1967)의 식을 ADI(Alternating Direction Implicit) 방법을 사용하여 차분하였다. Copeland(1985)는 그의 식을 Staggered 격자망을 구성하고 Leap-frog 방법을 사용하여 차분하였다. Kirby 등(1992)은 Radder와 Dingemans(1985)의 식을 Predictor-Corrector 방법을 사용하여 시간적으로 차분하였다. Kubo 등(1992)은 그들의 식을 ADI 방법을 사용하여 차분하였다.

2) 타원형

규칙파의 경우 시간의 변화율이 있는 항을 변형하여 쌍곡선형 식을 타원형 식으로 바꿀 수 있다. 타원형 식을 이용하여 해를 구할 경우 쌍곡선형 모형과 마찬가지로

로 경계조건을 지정하여야 한다. 이 과정에서 행렬이 형성되어 해를 구하는데 있어서 대체로 쌍곡선형 식으로 해를 구하는 것보다 더 많은 자료를 저장하여야 하고 계산시간이 더 오래 걸리는 단점이 있다.

3) 포물선형

파의 방향이 미리 지정한 방향과 큰 차이가 없을 때 타원형 식을 포물선형 식으로 근사화 시킬 수 있다. 포물선형 식을 사용한 해는 상류경계에서 임의의 파고와 파향이 주어지고, 측면경계에서 파를 통과시키거나 임의의 크기로 반사시키고, 하류로 나아가면서 해를 구하는 방법을 쓴다. 포물선형 식에 의한 해법은 자료의 저장량과 계산시간이 아주 작아 타원형식이나 쌍곡선형 식의 해법에 비해 더 경제적인 장점이 있는 반면, 반사되어오는 파랑의 변형을 해석할 수 없고 파의 방향이 미리 지정한 방향과 큰 차이가 날 때 많은 오차가 발생하는 단점이 있다.

측면경계에서의 파를 완전반사시키는 것은 쉬우나 임의의 크기로 반사시키는 것과 그대로 통과시키는 방법은 아직도 연구되고 있는 실정이다. Kirby(1986a)는 측면으로 들어오는 파를 평면파로 가정하여 입사파의 방향을 바로 상류지점에서 예측하고 측면경계에 그 방향으로 전파하는 방사경계조건을 사용하여 측면경계로 파를 통과시키는 방법을 시도하였다. 그러나, 여러방향으로부터 전파되는 파의 경우 이 방법을 쓸 수 없다. Dalrymple과 Martin(1992)은 Laplace 변환 기법을 사용하여 단순한 포물선형식과 Pade 근사화 기법에 의한 포물선형 식의 경우에 파가 측면경계를 완벽하게 통과할 수 있는 기법을 개발하였다. 그러나, 이 방법은 측면경계의 중심이 일정하여야 하는 제약조건이 있고 다른 포물선형 식에는 적용할 수 없는 단점이 있다.

Radder(1979)는 행렬분리(Splitting-matrix)기법을 사용하여 Berkhoff(1972)의 식을 단순한 포물선형 식으로 근사화하였다. 파의 방향이 지정된 방향과 멀어짐에 따른 포물선형 식의 오차가 커지는 문제점을 줄이기 위하여 Booij(1981)는 Pade 근사화기법을 사용하였고, Kirby(1986b)는 분수식 근사화(Rational Approximation)기법과 Minimax 근사화 기법을 사용하였다. 포물선형 식은 거의 대부분 Crank-Nicolson 방법으로 차분하여 해를 구하고 있다.

한편, Dalrymple 등(1989)은 Fourier 변환 기법을 사용하여 편미분방정식인 선형 환경사방정식을 상미분방정식으로 바꾸어 해를 구하였고 Suh 등(1990)은 비선형 환경사방정식을 마찬가지로 방법으로 해를 구하였다. Fourier 변환 기법을 사용한 해법은 파의 방향이 미리 지정한 방향과 차이가 있어도 오차가 생기지 않는 장점이 있지만 반사파를 고려할 수 없고 계산영역이 사각형이어야 하는 단점이 있다. Fourier 변환 기법에 의한 상미분방정식은 Runge-Kutta 방법을 사용하여 적분하였

다.

Table 6. Supposition of each wave equations.

계산방법 (참고문헌 예)	해저경사 $L \nabla h/h$	국소적 진행과성 $a \exp^{i(kx - \omega t)}$	유한진폭성 $H/L, H/h$	상대수심 $(h/L)^2$
과향선법(굴절도법) (Keller, 1958)	1차	가정함	미소 ⁴⁾	임의
에너지 평형방정식 (Karlsson, 1969)	1차	가정함	미소	임의
헬름홀츠 방정식 (Gaillard, 1984)	0	가정안함	미소	임의
타카야마 방법 (高山, 1981)	0	가정안함	미소	임의
완경사 방정식 (Berkhoff, 1972)	1차	가정안함	미소 ⁵⁾	임의
비정상 완경사 방정식 (渡辺·丸山, 1984)	1차	가정안함	미소	임의
수치과동해석법 (伊藤·谷本, 1971)	1차	가정안함	미소	임의
비정상완경사불규칙과동방정식 (窪 등, 1991)	1차	가정안함	미소	임의
포물형과동방정식 (Radder, 1979)	1차	가정함 ³⁾	미소 ⁵⁾	임의
비선형장파방정식 (Keller et al., 1960)	임의 ²⁾	가정안함	임의	미소(0차)
부시네스크 방정식 (Peregrine, 1967)	임의 ²⁾	가정안함	2차	임의

- 1) 천수계수의 보정이 필요
- 2) 수심 그 자체가 작다고 가정
- 3) 회절효과가 삽입
- 4) 파속의 계산에 유한진폭성을 도입가능
- 5) 유한진폭성을 고려한 방정식도 유도가정

Table 7. Theoretical range of each models.

계 산 방 법 (참고문헌 예)	천 수 변 형	굴 절	회 절	반 사	쇄 파 모 델	임 의 수 심	흐 름 간 섭	불 규 칙 성	유 한 진 폭 성	계산영역			비 고
										광 역	중 간	협 역	
과향선법(굴절도법) (Keller, 1958)	◎	◎	×			◎	○	○	△	○	○	○	파속에 유한진폭성을 포함
에너지 평형방정식 (Karlsson, 1969)	◎	◎	▽	△	○	◎	○	◎	×	○	○	○	
헬름홀츠 방정식 (Gaillard, 1984)	○	○	◎	◎	×	◎	×	○	×			○	영역마다 일정수심
타카야마 방법 (高山, 1981)			◎	◎	×	◎	×	◎	×		○	○	일정수심
완경사 방정식 (Berkhoff, 1972)	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○	△			○	
비정상완경사방정식 (渡辺丸山, 1984)	◎	◎	◎	◎	○	◎	○		×			○	쇄파모델·경계조건처리 용이
수치파동해석법 (伊藤谷本, 1971)	○	◎	◎	◎		◎			×			○	
비정상완경사불규칙파동방정식 (窪 등, 1991)	◎	◎	◎	◎	○	◎		◎	×			○	
포물형파동방정식 (Radder, 1979)	◎	◎	◎	△	○	◎	○	○	△		○	○	
비선형장파방정식 (Keller et al., 1960)	◎	◎	◎	◎	○	×		◎	◎			○	연직가속도가 무시된 천해역으로 한정
부시네스크 방정식 (Peregrine, 1967)	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎			○	원래 방정식은 천해역으로 한정
겔리킨 법 (灘岡·中川, 1993)	◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎			○	
비선형완경사파동방정식 (磯部, 1994)	◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎			○	

◎ : 기본형에서 적용가능, ○ : 응용형에서 일반적으로 적용가능, △ : 응용형에서 부분적 적용가능, ▽ : 기본이론에는 고려되지 않지만 실용상 적용가능, 공백 : 연구에 의해 적용될 가능성 있음, × : 적용불가능

계산영역 : 광역(심해에서 천해를 포함하는 정도), 중간(구조물 주변의 해역정도), 협역(항내정도)

4절 설계외력의 산정 예(파랑, 흐름)

1. 천해설계파랑의 산정(위미)

우리나라 심해설계파 제원은 동해 및 남해의 장기파랑추산 및 관측자료와 HYPAD 모델의결과를 바탕으로 한 극치파랑 통계분석 결과를 종합하여 설정하였다(Fig. 37). 위미항에 적용가능 한 심해파제원은 1322과 1422격자점의 추정치(해안별(남해·동해) 심해파 추정 보고서, 1998.8)로 외해수증양식 구조물에 영향을 미칠 것으로 판단되는 1322격자점 (S, SSE방향)과 1422격자점(S, SSE방향)의 50년 빈도 추정치로 결정하였다.

일반적으로 해양구조물 설계 시 구조물 안정성 판단, 항내정온도 분석을 위한 설계파랑은 「항만 및 어항 설계기준(1999. 해양수산부)」의 지침에 따라 설계한다. 따라서, 외해수증양식 구조물의 설계파 산정에 관련한 기준은 「항만 및 어항 설계기준(1999. 해양수산부)」으로 한다.

▶ 외해수증양식 구조물 설계조건(「항만 및 어항 설계기준」 1999, 해양수산부)

- 설계파: 가능한 불규칙파
- 심해파의 적용: 실측자료(10년 이상), 추산자료(30년 이상의 기상자료)
→ 50년 빈도의 확률파(유의파고 $H_{1/3}$) 적용

본 과업의 설계기준은 50년 빈도 설계파랑기준을 따르며 설계대상 심해파 제원은 대상 해역에 비교적 발생빈도가 큰 태풍 내습시 주 파향(S, SSE방향)에 대해서 50년 빈도 파랑수치실험을 수행하였다.

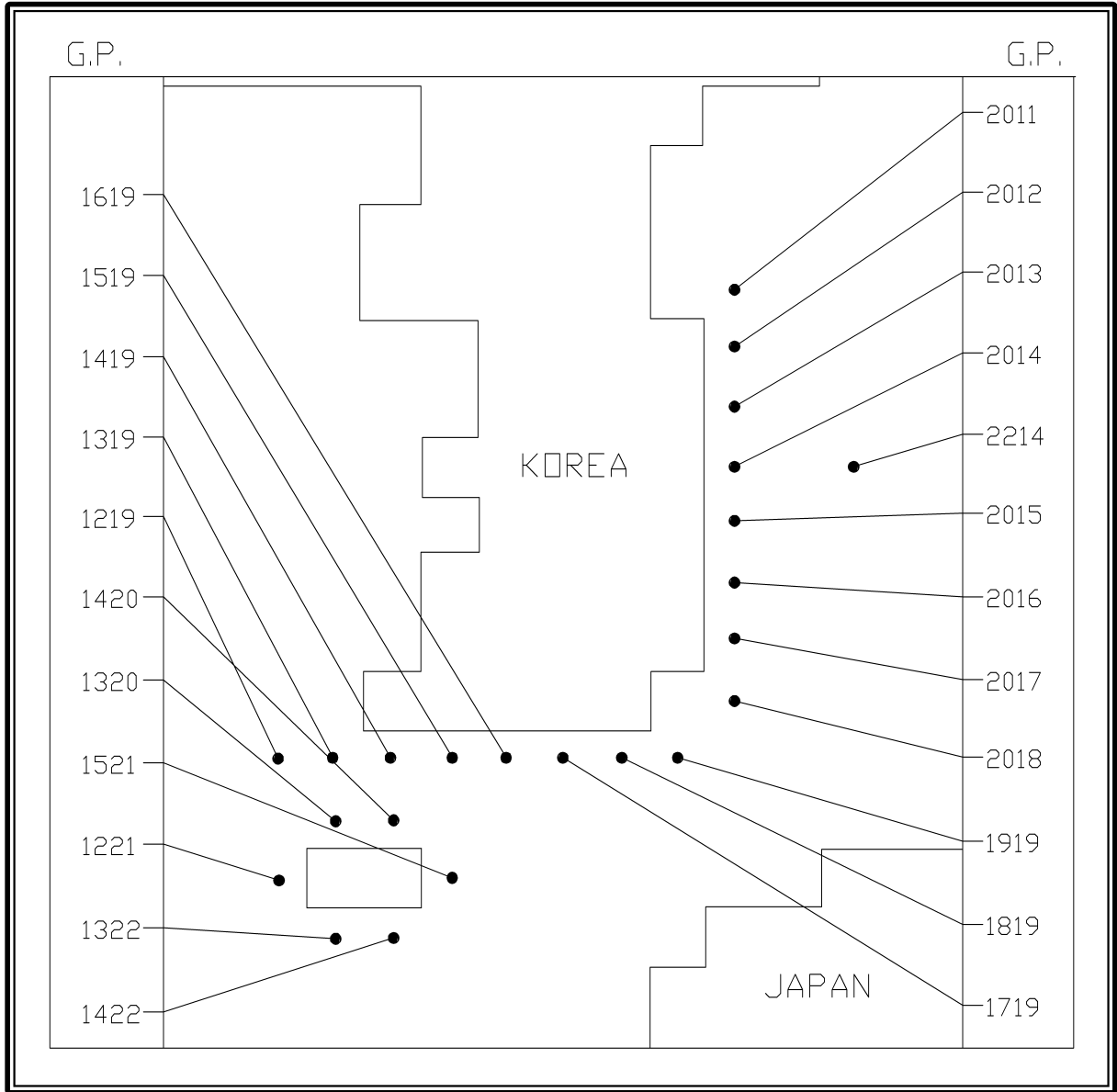


Fig. 37. Calculated point of design waves in the deep water .

Table 8. Deep water wave(Wimi)

격자 점	적용항	파향	파고 주기	재 현 기 간						설정요인
				10	20	30	50	70	100	
1320	추자, 신양, 애월, 도두, 소안, 청산도, 서거차, 서망, 제주, 한림	SSW	H _s (m)	5.4	6.0	6.3	6.7	6.9	7.2	태 풍
			T _s (s)	9.0	10.0	10.0	10.0	11.0	11.0	
		NNW	H _s (m)	5.8	6.3	6.6	7.0	7.2	7.4	동계계절 풍
			T _s (s)	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	12.0	
1420	추자, 신양, 애월, 도두, 소안, 청산도, 마량, 녹등, 제주	SE	H _s (m)	6.1	6.8	7.2	7.7	8.0	8.3	태 풍
			T _s (s)	10.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	
		NW	H _s (m)	4.5	4.9	5.2	5.4	5.6	5.8	동계계절 풍
			T _s (s)	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
1521	성산포	S	H _s (m)	9.2	10.0	10.5	11.0	11.3	11.7	태 풍
			T _s (s)	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0	
		SSW	H _s (m)	7.7	8.6	9.1	9.7	10.0	10.4	태 풍
			T _s (s)	11.0	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	
1422	모슬포, 위미	S	H _s (m)	9.0	9.9	10.3	10.0	11.2	11.6	태 풍
			T _s (s)	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0	
		SSE	H _s (m)	8.4	9.2	9.6	10.1	10.5	10.8	태 풍
			T _s (s)	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	14.0	
1322	모슬포, 위미, 서귀포	S	H _s (m)	9.2	9.9	10.3	10.8	11.1	11.4	태 풍
			T _s (s)	13.0	14.0	14.0	14.0	15.0	15.0	
		SSE	H _s (m)	8.9	9.8	10.2	10.8	11.1	11.5	태 풍
			T _s (s)	13.0	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	
1221	화순	S	H _s (m)	7.8	8.4	8.7	9.1	9.3	9.6	태 풍
			T _s (s)	11.0	12.0	12.2	13.0	13.0	13.0	
		NNW	H _s (m)	6.2	6.8	7.1	7.4	7.7	7.9	동계계절 풍
			T _s (s)	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	12.0	

주)근거자료 : 해안별(남해·동해) 심해파 추정 보고서 (수산청 1998.8)



Fig. 38. Calculated area(Wimi, Dir.= S, SSE).

2. 파랑수치모형실험(위미)

본 과업에서의 파랑수치 실험은 심해입사파 진입에 따른 위미항 주변 외해수중양식 구조물의 설계를 위한 천해설계파를 산정하고자 한다. 심해파제원은 대상해역에 지배적으로 미치는 파향의 제원을 선정하되 과업대상지역의 「해안별(남해·동해) 심해파산정 보고서(수산청, 1988)」 상의 파랑제원을 채택하여 적용하였다. 심해파제원을 바탕으로 광역경계의 파랑변형실험을 수행한 후, 그 결과를 상세영역 경계 입사조건으로 적용하여 협역 파랑변형실험을 실시하여, 대상해역의 설계파고 산정하고자 한다. 사용되어진 파랑수치모형은 에너지 평형방정식모형을 사용하였으며, 구조물에 대한 설계파고는 호안 및 안벽의 설계식에 통상적으로 적용되는 환산심해파고와 동일한 상황의 파고를 얻기 위해 가급적 비쇄파 영역의 파고를 취득한다.

본 과업에서 사용된 파랑변형모형인 WAVE-KE모형은 다방향불규칙파 변형모형으로서 굴절, 회절, 천수, 쇄파변형의 고려가 가능한 모형이다. 이 모형의 기본방정식은 Karlsson의 에너지평형방정식이며 이는 식(12)~(15)(Karlsson, 1969)이다.

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{S}\vec{V}) - Q = 0 \quad (12)$$

$$\nabla = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial f}, \frac{\partial}{\partial \theta} \right\} \quad (13)$$

$$\vec{V} = \begin{Bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_f \\ V_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} C_g \cos \theta \\ C_g \sin \theta \\ \frac{\partial f}{\partial t} \\ \frac{C_g}{C} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \sin \theta - \frac{\partial C}{\partial y} \cos \theta \right) \end{Bmatrix} \quad (14)$$

$$C_g = \frac{C}{2} \left\{ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right\} \quad (15)$$

여기서, $S(= S(f, \theta))$ 는 파랑스펙트럼 에너지밀도, Q 는 외부에너지 출입, \vec{V} 는 성분 에너지 전파속도 vector, C_g 는 군속도, C 는 파속, k 는 파수, d 는 수심, f 는 주파수, θ 는 방향을 나타낸다.

상기 식(12)는 i) 파의 상태는 변하지 않음($\partial S / \partial t = 0$), ii) 성분파의 주기는 변하지 않음($\partial f / \partial t = 0$), iii) 외부에너지의 출입은 없다($Q = 0$)고 가정하면, 식(16)와 같이 유도되며, 본 천해파랑변형 계산모형은 이 방정식에 기초한다.

$$\frac{\partial}{\partial x} (SV_x) + \frac{\partial}{\partial y} (SV_y) + \frac{\partial}{\partial \theta} (SV_\theta) = 0 \quad (16)$$

식(16)은 유한차분법을 사용하여 풀 수 있으며, 입사경계에서는 입사파랑의 파향

(평균파향), 파고(유의파고) 및 주기(유의파 주기)에 대응되는 방향스펙트럼을 바탕으로 성분파 에너지를 분할·입력시키는 바, 본 모형에서 사용한 방향스펙트럼은 식(17)~식(22)에서 제시한바와 같이 주파수 스펙트럼으로는 Bretschneider-Mitsuyasu형을, 방향분포함수로는 Mitsuyasu 형을 사용하는 방향스펙트럼을 적용한다.

$$S(f, \theta) = S(f) G(f; \theta) \quad (17)$$

$$S(f) = 0.25H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3} f)^{-4}] \quad (18)$$

$$G(f; \theta) = G_0 \cos^{2s}(\frac{\theta}{2}) \quad (19)$$

$$G_0 = \frac{1}{\pi} 2^{2s-1} \frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)} \quad (20)$$

$$S = \begin{cases} S_{\max} \cdot (f/f_p)^5 & : f \leq f_p, \\ S_{\max} \cdot (f/f_p)^{-2.5} & : f \geq f_p \end{cases} \quad (21)$$

$$f_p = 1/(1.05T_{1/3}) \quad (22)$$

여기서, $S(f)$ 는 주파수 스펙트럼, $G(f; \theta)$ 는 방향분포함수, Γ 는 감마함수(gamma function), f_p 는 peak 주파수, S_{\max} 는 방향집중도 변수이다.

또한 측면경계에서는 경계 내외의 방향스펙트럼을 동일하게 주며, 육지측에서는 파에너지가 육지에 완전 흡수되는 것으로 한다. 수치해는 계산영역내 각 격자점에서 성분파의 에너지밀도 $S(f, \theta)$ 로 산출되고 이를 바탕으로 식(23)~식(25)과 같은 관계를 이용하여 파고, 주기 및 파향을 산출한다.

$$H_{1/3} = 4 \left\{ \int_0^\infty \int_0^{2\pi} F(f, \theta) d\theta df \right\}^{1/2} \quad (23)$$

$$T_{1/3} = 1.22 \left\{ \int_0^\infty \int_0^{2\pi} F(f, \theta) d\theta df / \int_0^\infty \int_0^{2\pi} f^2 F(f, \theta) d\theta df \right\}^{1/2} \quad (24)$$

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left\{ \int_0^\infty \int_0^{2\pi} F(f, \theta) \sin \theta d\theta df / \int_0^\infty \int_0^{2\pi} F(f, \theta) \cos \theta d\theta df \right\}^{1/2} \quad (25)$$

한편, 파랑이 해안으로 접근함에 따라 발생하는 쇄파는 상기 방법에 의하여 각 격자점에서 계산된 파고가 식(26)으로 표현되어지는 Goda(1975)의 쇄파관계식으로 계산된 값보다 크지 않는 것으로 하여 고려한다.

$$H_b/L_0 = A \{ 1 - \exp[-1.5\pi(h_b/L_0)(1 + K(\tan \beta)^s)] \} \quad (26)$$

여기서, H_b 는 쇄파파고, L_0 는 심해파장, A 는 0.12~0.18, K 는 15, s 는 4/3, h_b 는 쇄파수심, $\tan \beta$ 는 해저경사를 표시한다.

가. 심해설계파 실험-1(태풍, 50년 빈도, S)

(1) 실험조건

(가) 모형영역 및 격자체계 :

- 경계: 위미항 남측 약 18km 지점에 입사경계를 설정한 20km×20km의 영역
- 격자간격 : $\Delta x = \Delta y = 80m$

(나) 수심조건 : 위미지역의 약최고만조위(DL.(+) 2.37m)를 기준한 수심, 해양조사원 간행 해도(No. 253), 수심측량성과(<그림 4-5-3>)

(다) 입사파랑조건

- 1322(격자점) : 파고(H) 10.8m, 주기(T) 14sec, 파향(θ) S

(라) 성분파 분할 : 총 320개 성분

- 주파수 분할 : (0.7 ~ 3.0)fp 범위에 대하여 20개(부등분할)
- 방향분할 : $-90^\circ \sim +90^\circ$ 범위에 대하여 $\Delta\theta = 11.25^\circ$ 인 16개

Table 9. Wave modeling conditions(S)

구 분		내 용	비 고
산정파랑		• 천해설계파 산정	
실험조건		• 파향 : S방향 • 입사파고 : $H_{1/3} = 10.8m$ • 주기: $T_{1/3} = 14sec$	
실험모형		• 에너지 평형방정식 모형.	
격자구 성	범위	• 외해 입사구역의 심해역에서 구조물 배치 예정지까지 구성 • 계산영역: 광역 (20×20km)	
	간격	• 격자간격 : 광역 ($\Delta x = \Delta y = 80m$) • 격자수 : 광역(250×250EA)	
기준해수면		• 약최고만조위 (Approx. H.H.W) : DL(+) 2.37m	
성분파 분할		• 주파수분할 : (0.7~3.0)fp 범위에 대해 20개 성분으로 부등분할 • 방향분할 : $-90^\circ \sim +90^\circ$, $\Delta\theta = 11.25^\circ$, 16개 성분	
평형스펙트럼		• 주파수 스펙트럼 : Bretschneider- Mitsuyasu 형 • 방향함수 : Mitsuyasu 형	
경계조건		• 입사경계 : 입사파의 파고, 파향, 주기 • 투과경계 : 파를 계산영역밖으로 통과	

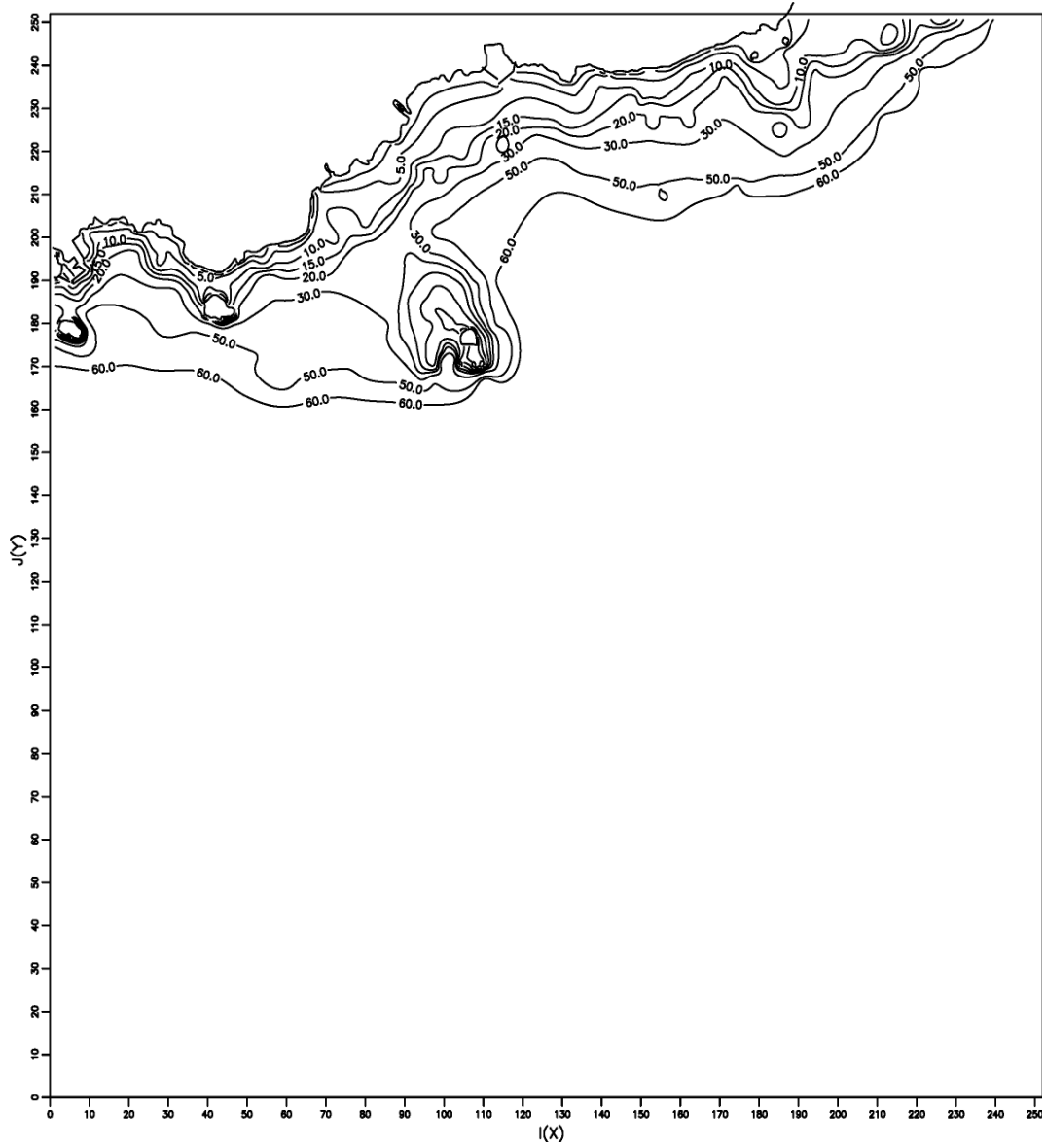


Fig. 39. Calculated area (Wimi, S).

(2) 실험결과

S향의 50년 빈도파의 변형계산결과를 파랑벡터도와 파고분포도로 표현하였다 (Fig. 40 ~ Fig. 41). 대상 해역의 심해설계파는 해저지형 및 수심에 대해 남동쪽 방향에서 입사하므로, 대상해역에 경사지게 입사하였다. 위미항 주변의 설계파고는 4.5~7.2m 의 범위를 보이고 있다.

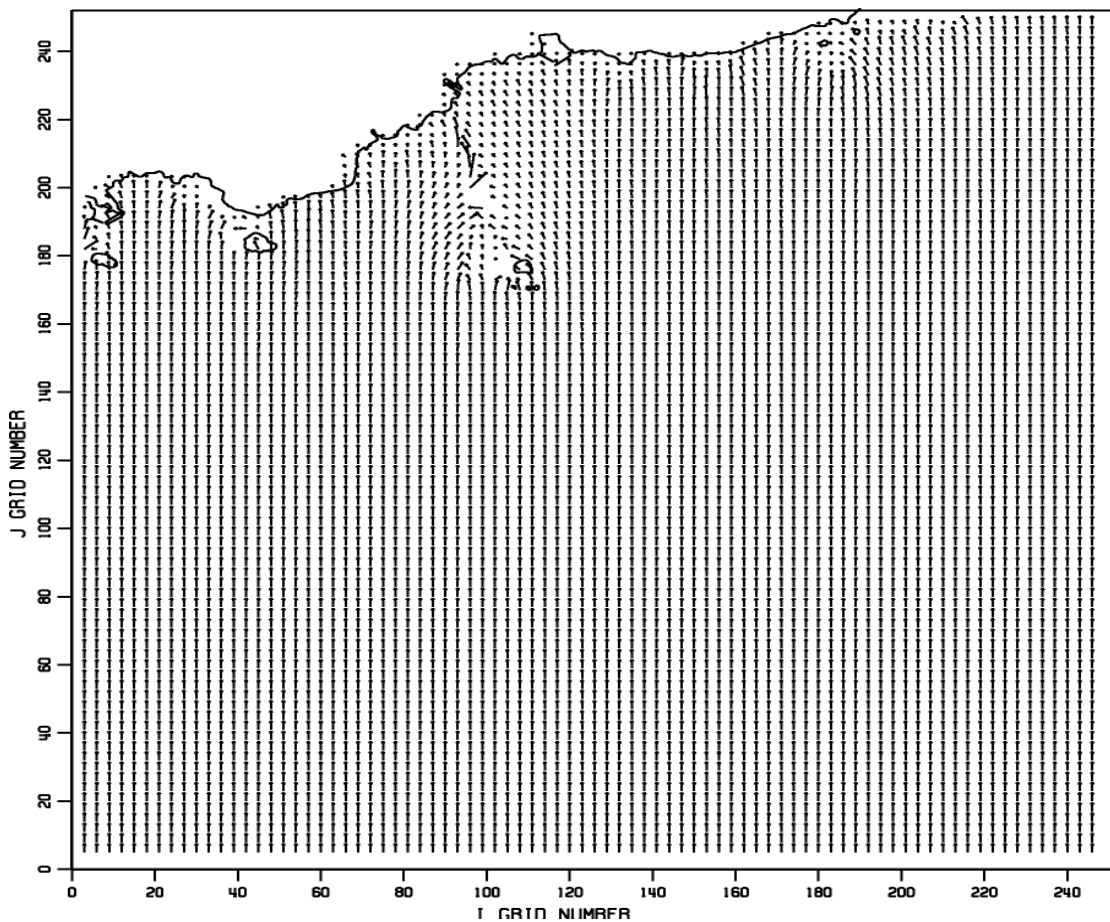


Fig. 40. Distribution of wave vectors(Wimi, S).

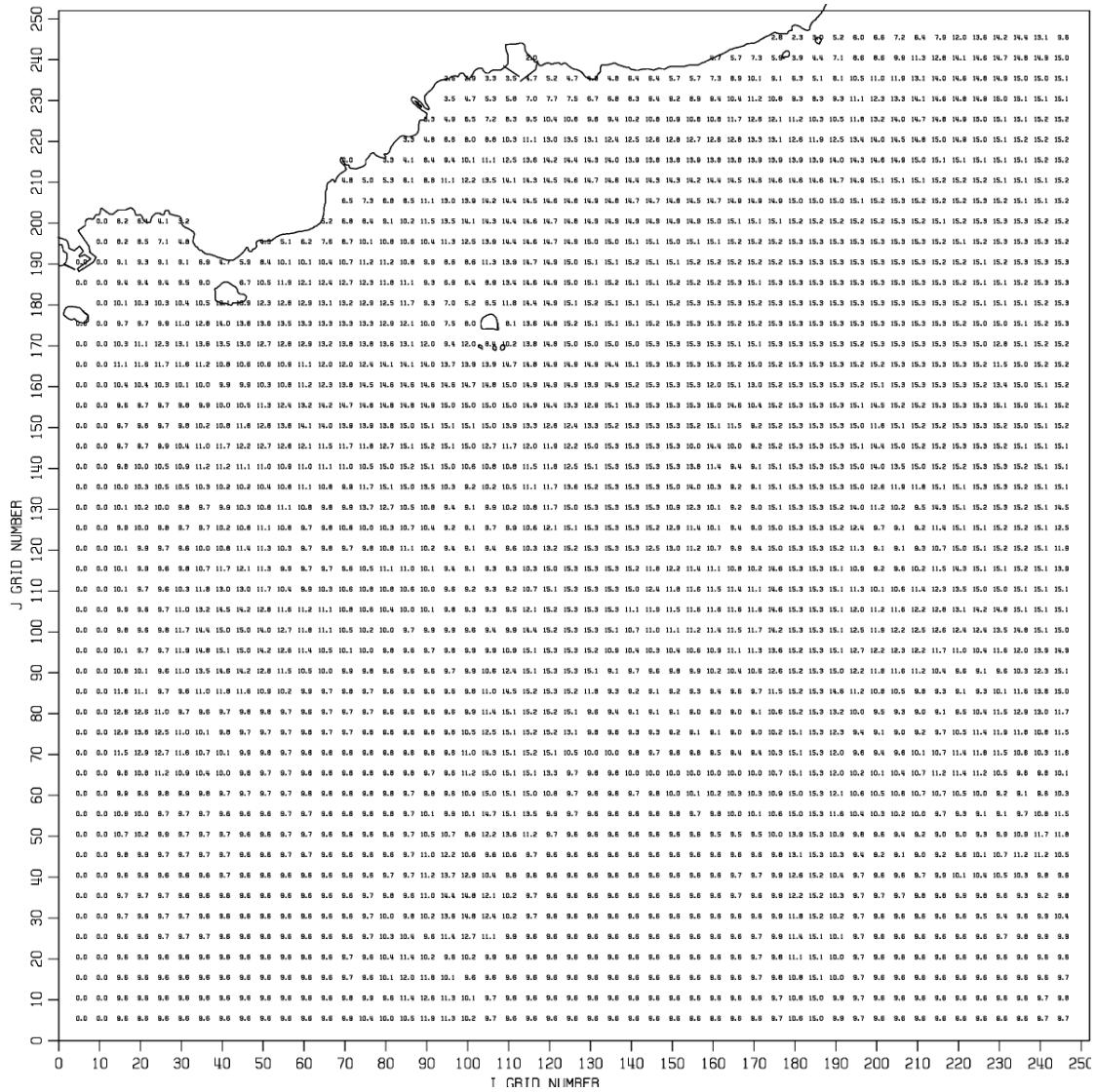


Fig. 41. Distribution of wave height(Wimi, S).

2. 심해설계파 실험 - 2(태풍, 50년 빈도, SSE)

가. 실험조건

(1) 입사경계

- 경계: 위미항 남동쪽으로 약 16km 지점에 입사경계를 설정한 20km×20km의 영역 격자간격 : $\Delta x = \Delta y = 80m$

(2) 수심조건 : 위미지역의 약최고만조위(DL.(+) 2.37m)를 기준한 수심, 해양조사원 간행 해도(No. 253), 수심측량성과

(3) 입사파랑조건

- 1322 격자점: 파고(H) 10.8m, 주기(T) 14sec, 파향(θ) SSE
- 1422 격자점: 파고(H) 10.1m, 주기(T) 14sec, 파향(θ) SSE

(4) 심해설계파 변형실험의 실험개요를 정리하면 Table 10과 같다.

Table 10. Wave modeling conditions(SSE)

구 분	내 용	비 고
산정파랑	• 천해설계파 산정	
실험조건	• 파향 : SSE • 입사파고 : $H_{1/3} = 10.1m, 10.8m$ • 주기: $T_{1/3} = 14sec$	
실험모형	• 에너지 평형방정식 모형.	
격자 구성	범위	• 외해 입사구역의 심해역에서 위미항까지 구성 • 계산영역: 광역 (20×20km)
	간격	• 격자간격 : 광역 ($\Delta x = \Delta y = 80m$) • 격자수 : 광역(250×250EA)
기준해수면	• 약최고만조위 (Approx. H.H.W) : DL(+) 2.37m	
성분과 분할	• 주파수분할 : (0.7~3.0)f _p 범위에 대해 20개 성분으로 부등분할 • 방향분할 : $-90^\circ \sim +90^\circ$, $\Delta\theta = 11.25^\circ$, 16개 성분	
적용스펙트럼	• 주파수 스펙트럼 : Bretschneider- Mitsuyasu 형 • 방향함수 : Mitsuyasu 형	
경계조건	• 입사경계 : 입사파의 파고, 파향, 주기 • 투과경계 : 파를 계산영역 밖으로 통과	

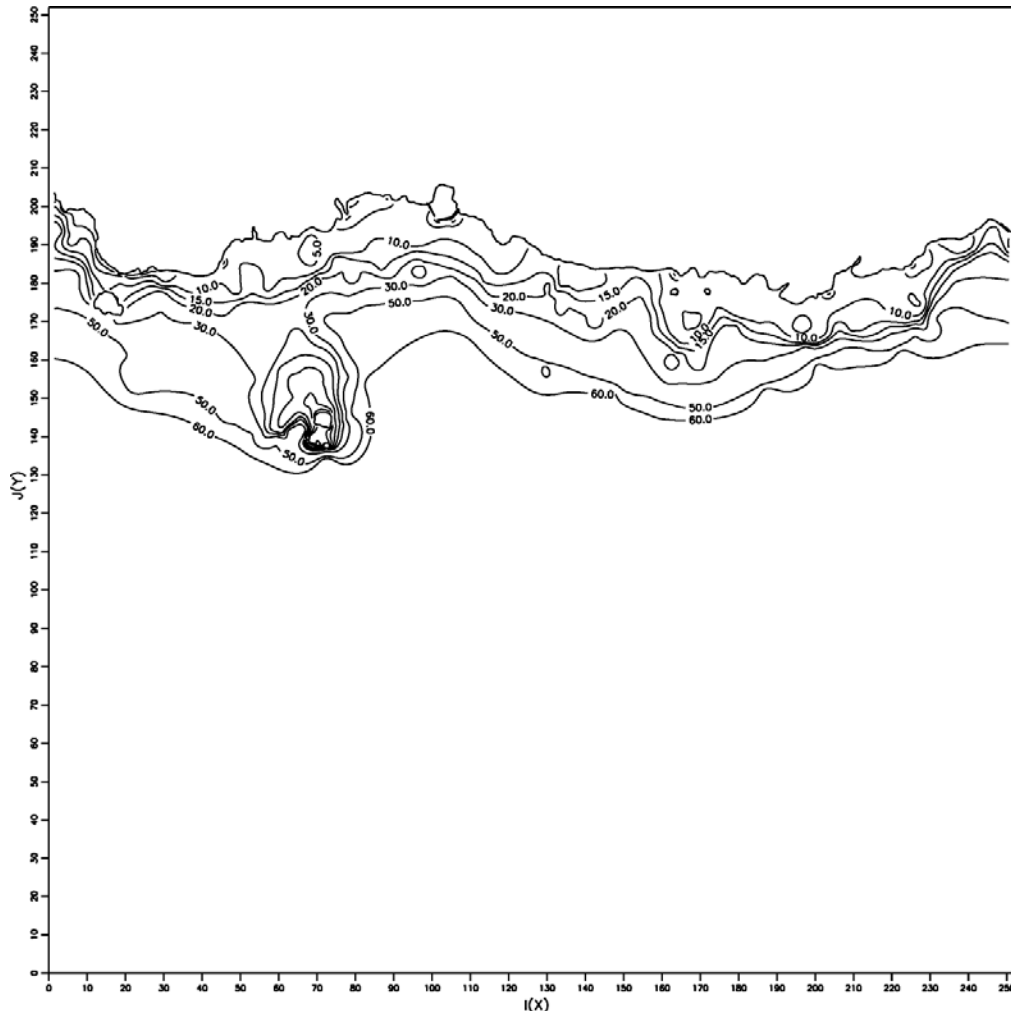


Fig. 42. Calculated area (Wimi, SSE).

나. 실험결과

1422, 1322 격자점의 심해파 제원으로 SSE방향의 50년 빈도파의 변형계산결과를 각각 파랑벡터도와 파고분포도로 표현(Fig. 43 ~ Fig. 44). 대상 해역의 심해설계 파는 해저지형 및 수심에 대해 평행하게 진입하므로 SSE 방향으로 입사하여, 대상 해역에 평행하게 입사하였다. 따라서 위미항 주변의 파고는 1422격자점에서의 심해파 제원을 사용하여 수치실험한 결과 5.7m ~ 7.3m 정도의 범위를 가졌고 1322 격자점에서의 수치 실험한 결과 4.9m ~ 6.5m 정도의 범위를 가졌다.

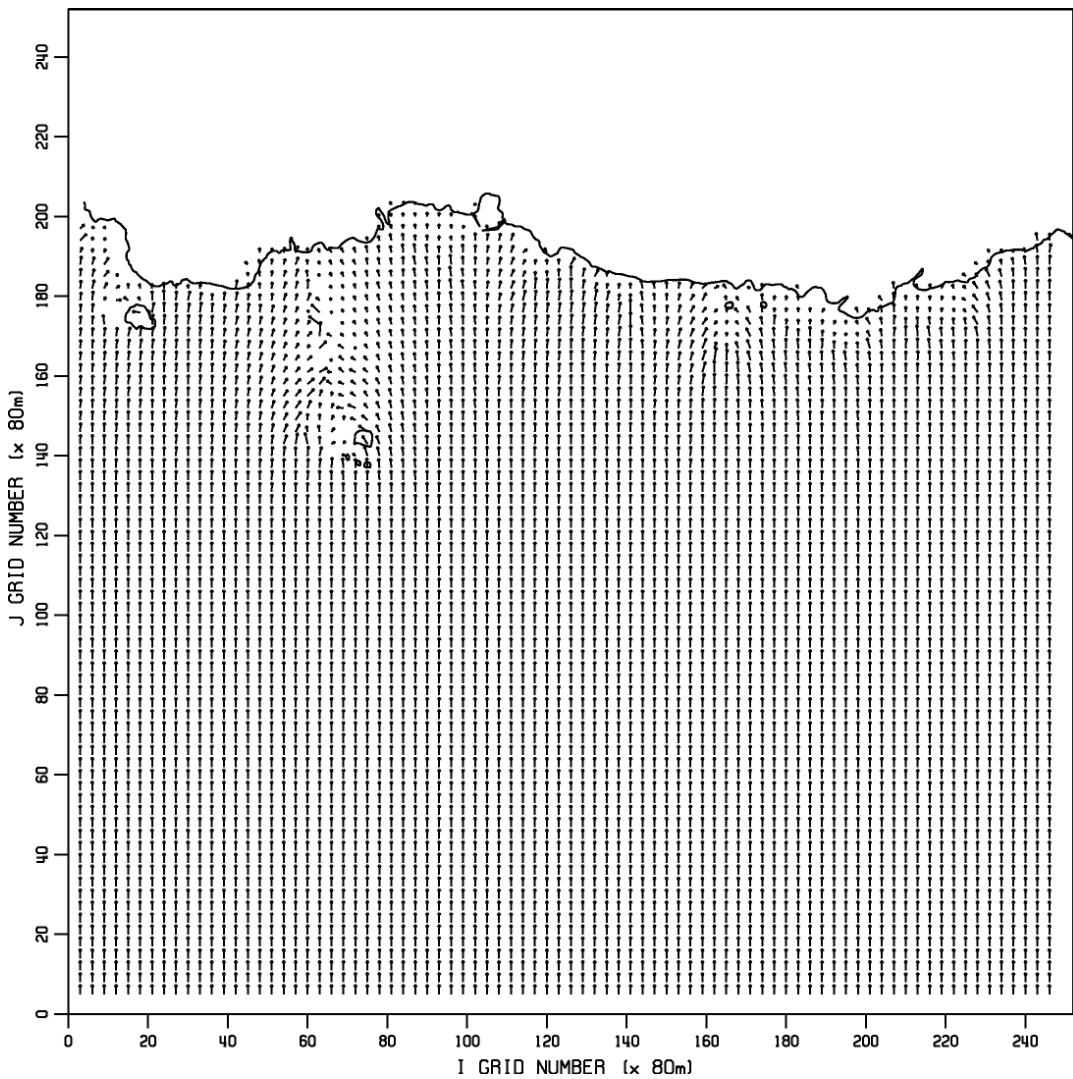


Fig. 43. Distribution of wave vectors(Wimi, SSE, $H_{1/3}=10.1m$).

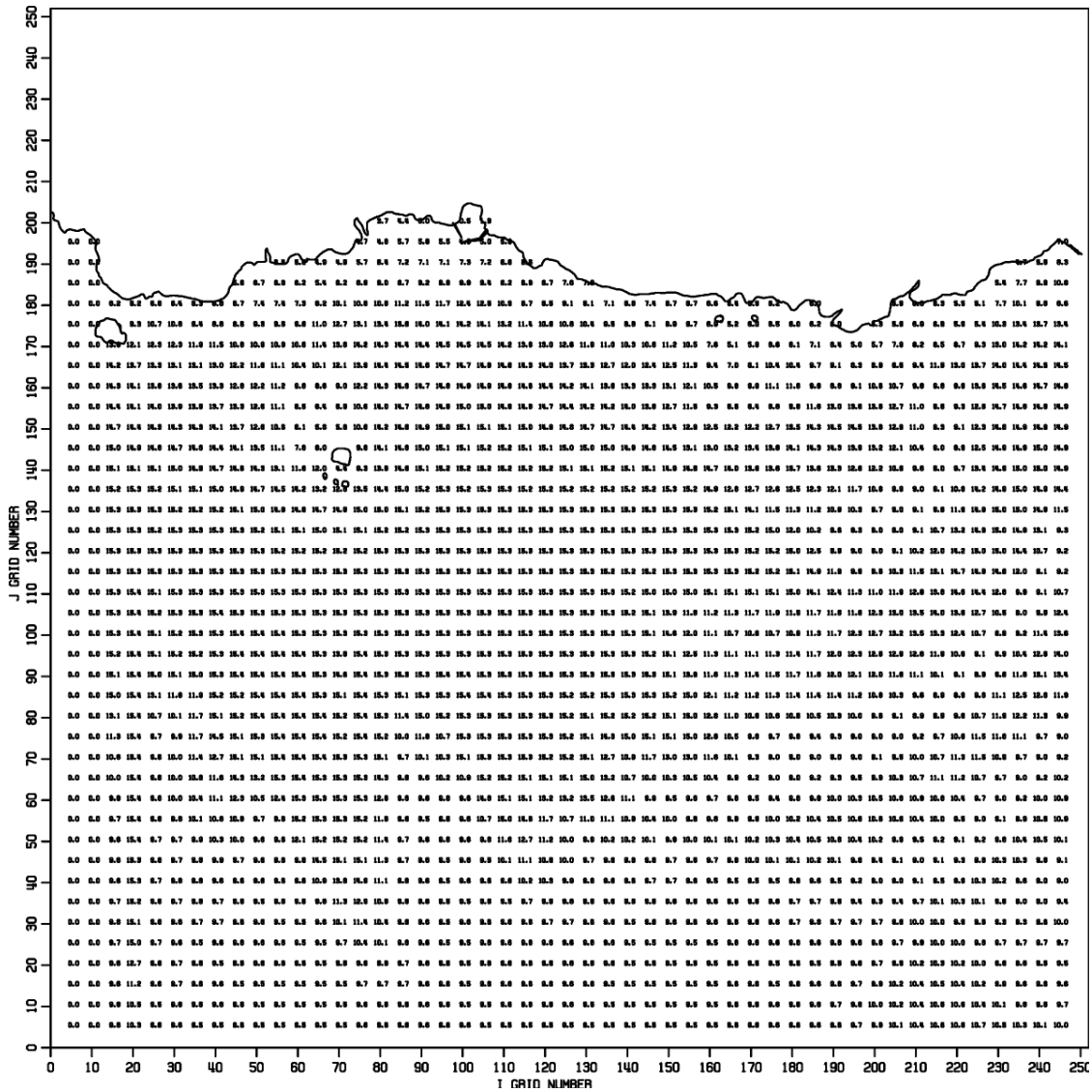


Fig. 44. Distribution of wave height(Wimi, SSE, $H_{1/3} = 10.1m$).

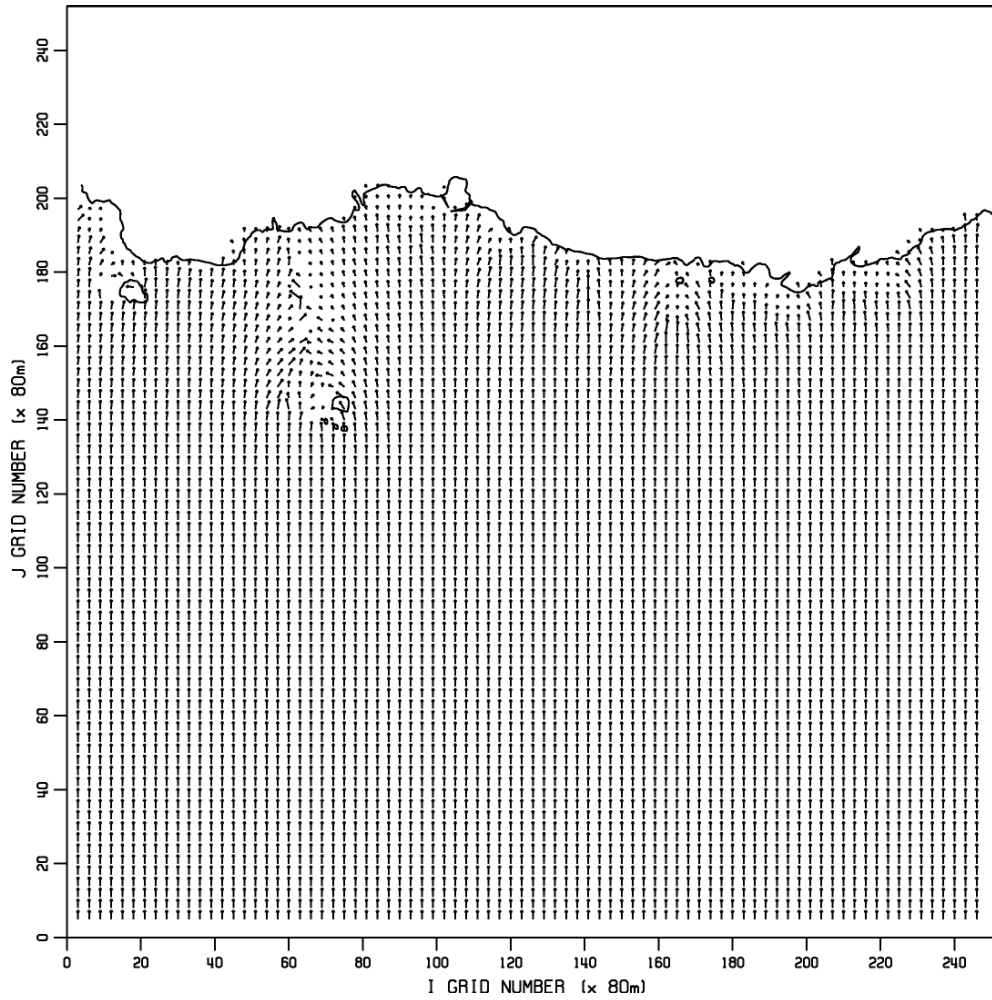


Fig. 45. Distribution of wave vectors(Wimi, SSE, $H_{1/3}=10.8$ m).

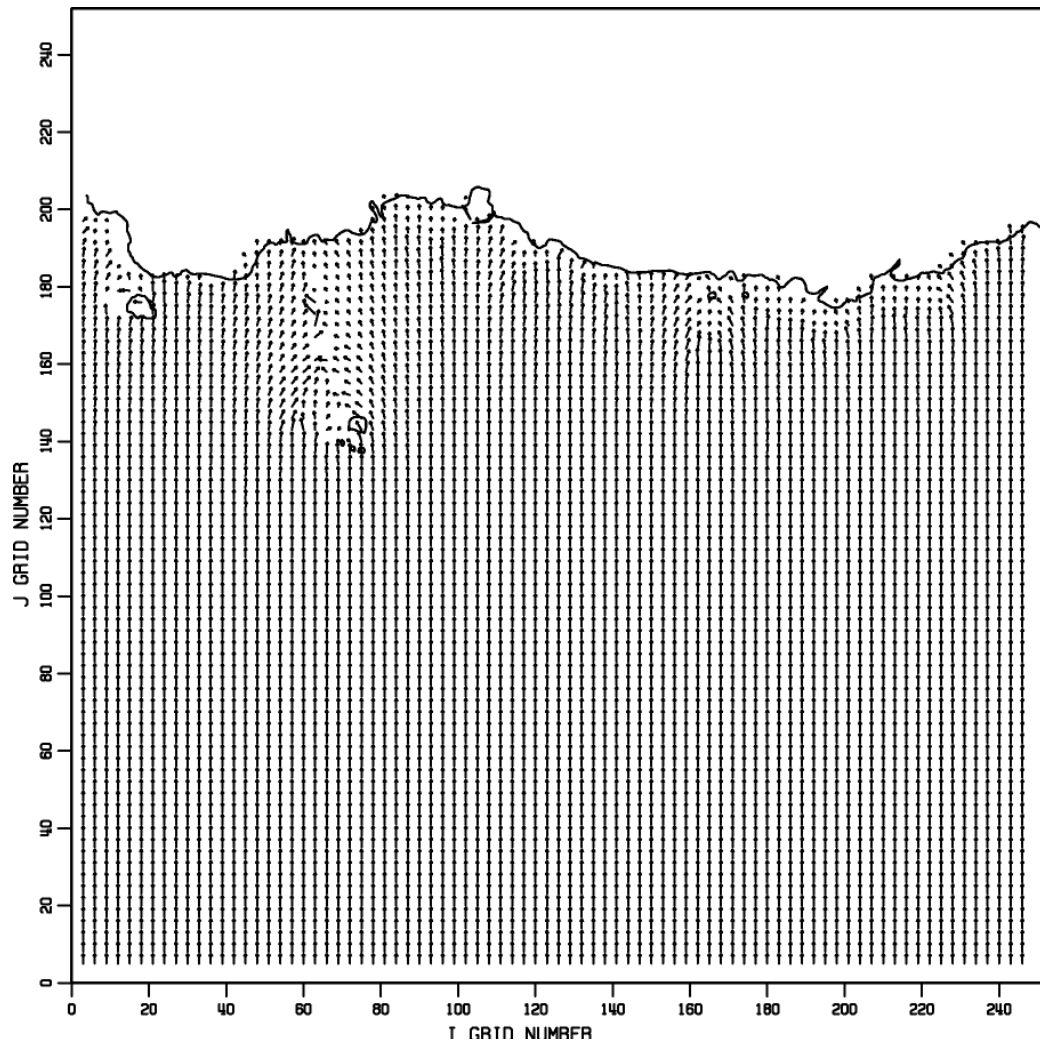


Fig. 46. Distribution of wave vectors(Wimi, SSE, $H_{1/3}=10.8\text{m}$).

2. 설계흐름의 산정

가. 해수유동변화

본 해수유동 수치실험시 실험개요 및 실험안을 나타낸 것은 Table 11이다.

Table 11. Calculation of tidal current

구 분	실 험 내 용
실험상황	정상상태
산출유동장	평수기의 대, 소조기 유동장 산출(계산기간 : 15일간)
실험모형	2차원 수심적분 해수유동모형
모형영역	동서: 15.0 km, 남북: 7.5 km
격자체계	$\Delta x = \Delta y = 100$ m의 등격자망 ($150 \times 75 = 11,250$ 개)
결과출력	최강 창 · 낙조류시 유속벡터도, 잔차류 유속벡터도

(1) 모형구축 및 실험조건

(가) 모형구축

본 해수유동모형에서 적용한 모형의 광역계산영역은 과업대상해역을 포함하는 15.0×7.5 km로 설정하였으며, 계산격자망은 $\Delta x = \Delta y = 100$ m인 $150 \times 75 = 11,250$ 개의 등격자망으로 구축하였다(Fig. 38).

(나) 실험조건

외해 조석 경계입력조건은 정점 조석 조화상수값을 바탕으로 추정하였다. Fig. 38에 표기되어진 광역계산영역 외해 조석 경계입력지점별 산정되어진 경계입력조건 추정결과는 Table 12과 같다. 이 값은 대표적인 4대 분조(M_2, S_2, K_1, O_1)의 값을 나타내고 있다. 이들 추정계산된 자료를 입력하여 수치실험을 수행하였다.

(다) 기타 계산입력조건

계산에 필요한 제반 물리계수 등 기타 입력조건은 Table 13과 같다.

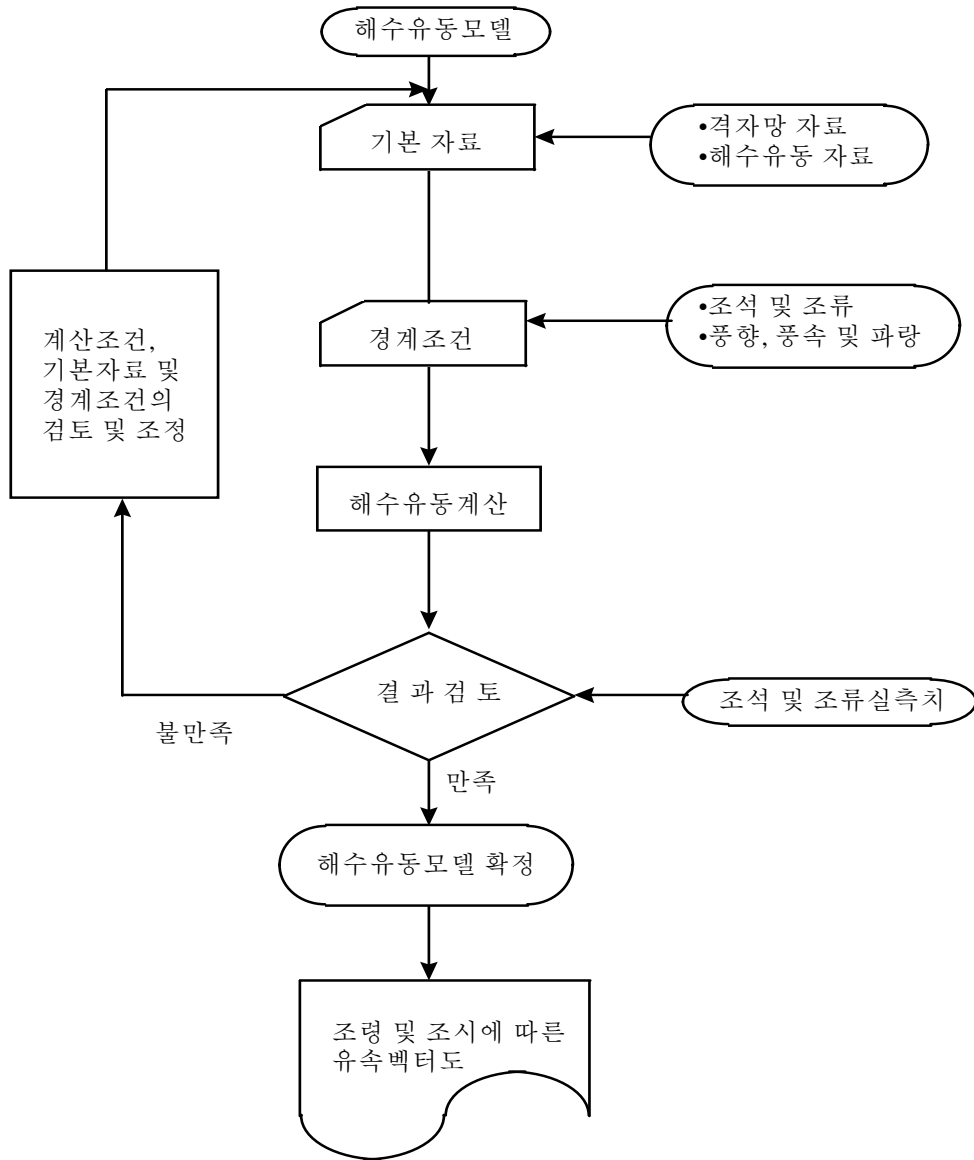


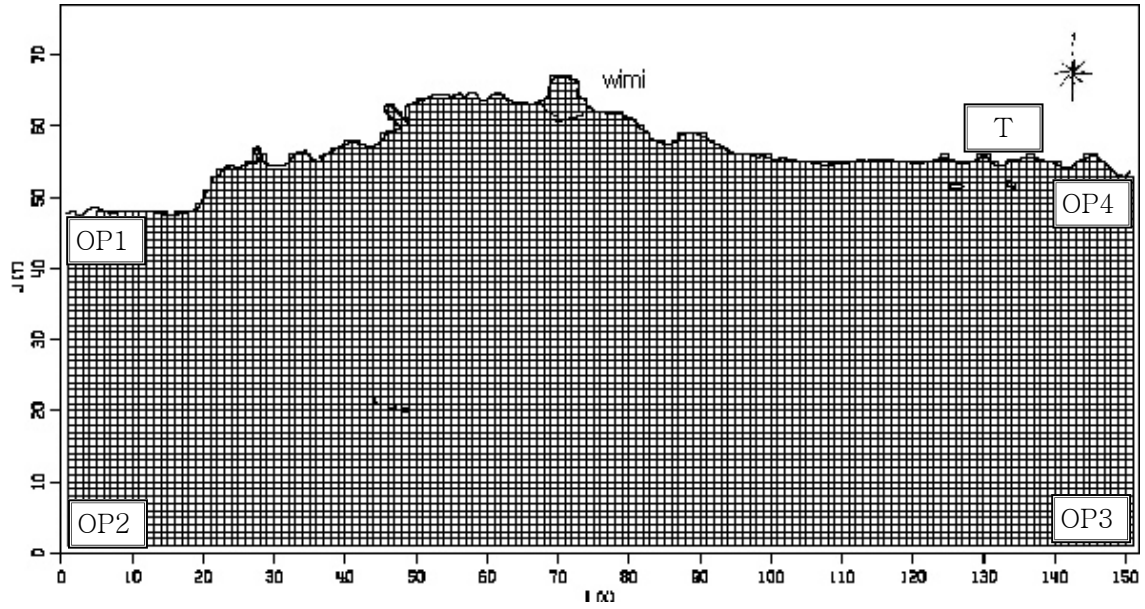
Fig. 47. Flow of calculation for tidal currents.

Table 12. Open boundary conditions

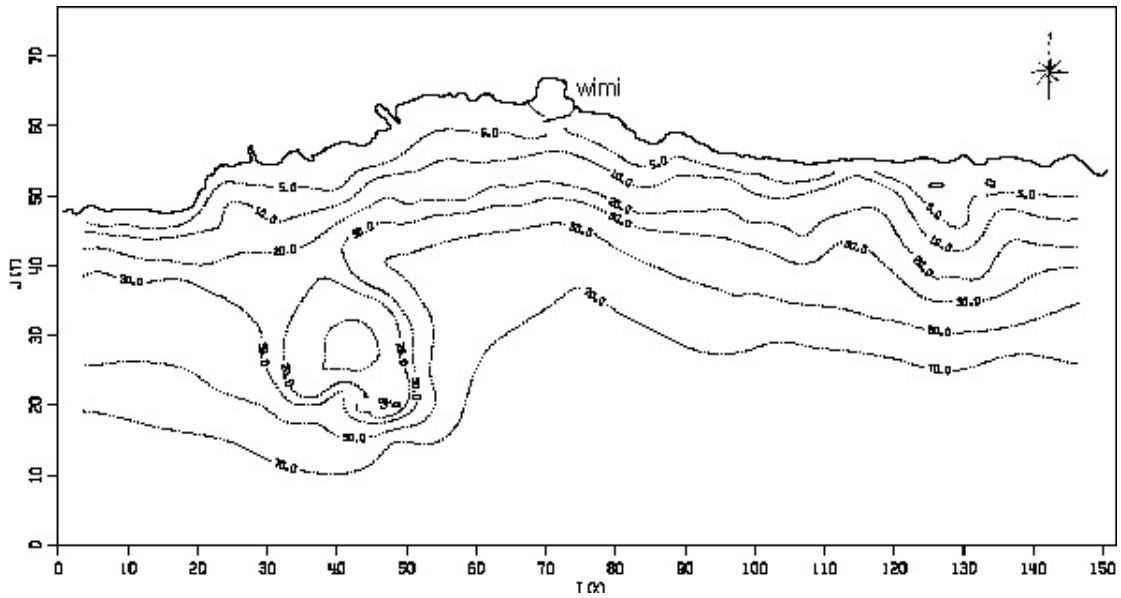
경계정점	M2		S2		K1		O1	
	조위 (cm)	지각 (°)	조위 (cm)	지각 (°)	조위 (cm)	지각 (°)	조위 (cm)	지각 (°)
OP-1	79.6	273.05	34.3	297.62	24.4	200.37	18.0	179.35
OP-2	76.6	273.1	34.2	297.7	24.3	200.4	17.9	179.4
OP-3	76.4	269.8	34.0	293.24	24.0	198.16	17.5	177.33
OP-4	76.7	269.78	34.1	293.22	24.2	198.13	17.6	177.30

Table 13. Input conditions for calculation

입력조건	입력치 또는 입력방법	비 고
계산시간 간격(Δt)	5 sec	CFL조건 만족치
Coriolis factor(f)	$f = 2\omega \sin \Phi$, $\omega = 2\pi / (24 \times 60 \times 60)$ $\Phi = 34.47^\circ$	f-plane 근사
평균해면(M.W.L.)	1.52 m	서귀포
Chezy 계수(C_h)	$C_h = (1/0.026) \times \bar{h}^{-1/6}$ \bar{h} : 주변 4점평균 수심	



a) grid



b) Depth

Fig. 48. Calculated boundary.

(라) 실험결과 및 분석

1) 조위 검증

수치모형 실험결과의 조위 검증은 Fig. 38의 계산영역에 전술한 Table 12의 외해 조석 경계입력조건을 적용했을 때, T의 관측점에서의 관측된 조위값과 본 수치실험을 통해 재현된 조위를 비교하였으며, 4대 분조를 고려하여 초기의 대조기에서 소조기를 거쳐 다음 대조기까지 30일간의 경시 변화를 Fig. 39에 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 본 계산에서 관측치와 계산치의 조위값의 차이는 매우 미소하여 본 수치실험이 본 사업대상해역 인근의 유동을 잘 표현하고 있다고 볼 수 있다.

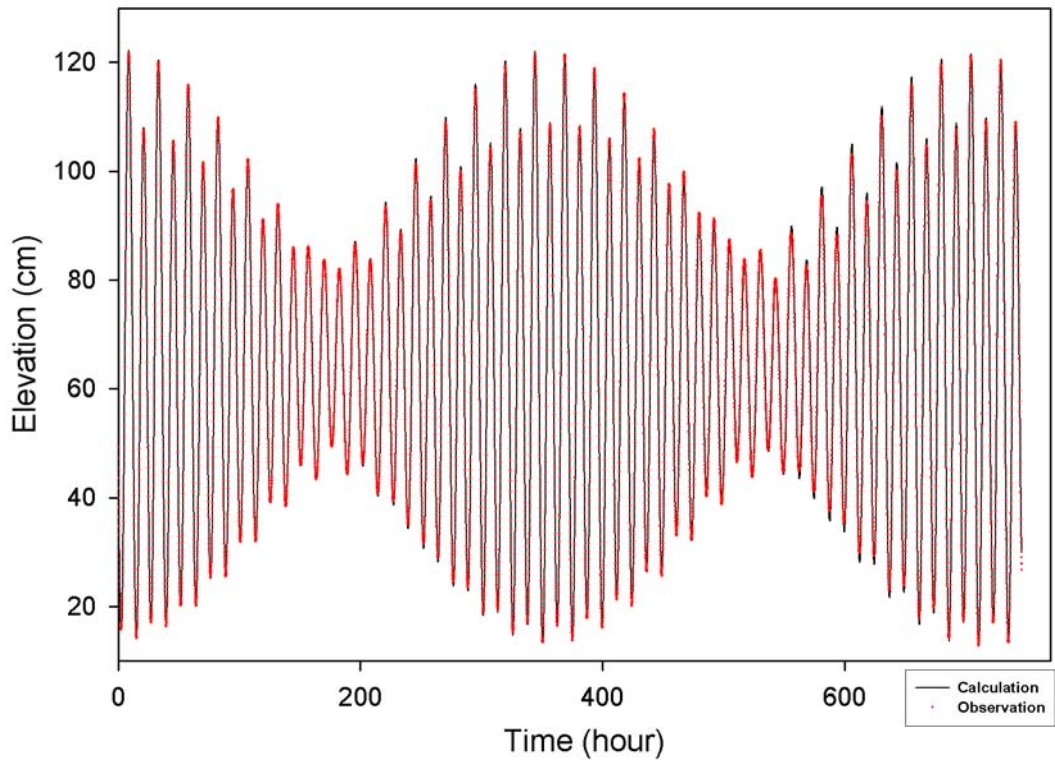


Fig. 49. Calibration of calculated water level.

(마) 해수유동 실험결과

Fig. 40~Fig. 43는 각각 광역모형 계산을 통해 얻어진 대조기 및 소조기 최강 창조류 및 낙조류시의 유속벡터를, Fig. 44는 조석잔차류 유속벡터도를 나타내었다.

Fig. 40에서 대조기 최강류 창조류시의 유속벡터를 살펴보면 서측으로부터 유입하여 위미항을 거쳐 동쪽으로 나아가는 경향을 보이는데 대체적으로 동서 방향이 주 흐름이다. Fig. 41은 대조기 최강 낙조류시의 유속벡터를 나타낸 것으로 창조류시와는 반대의 흐름을 나타내었다. 각각의 조령에서의 최대 유속은 창조류시 약 9 cm, 낙조류시 약 11 cm인 것으로 나타났다.

Fig. 42와 Fig. 43은 소조기 창·낙조시의 유속벡터도로서 그 최대유속이 4~5 cm정도로 대조기에 비해서 45~50 %로 줄어드는 것으로 나타났다.

또한 Fig. 44는 수치계산결과에 따른 조류잔차류를 나타낸 것으로 최대 잔차 유속성분은 약 3 cm/sec정도인 것으로 나타났으며, 동측으로 유입하여 서측으로 나아가는 흐름이 나타났다.

이상의 결과를 통해 대상해역에서 대조기와 소조기시 왕복흐름이 뚜렷하게 나타나며, 낙조류의 유속이 창조류의 유속보다 약 5~10 %강하게 나타나는 것을 알 수 있다.

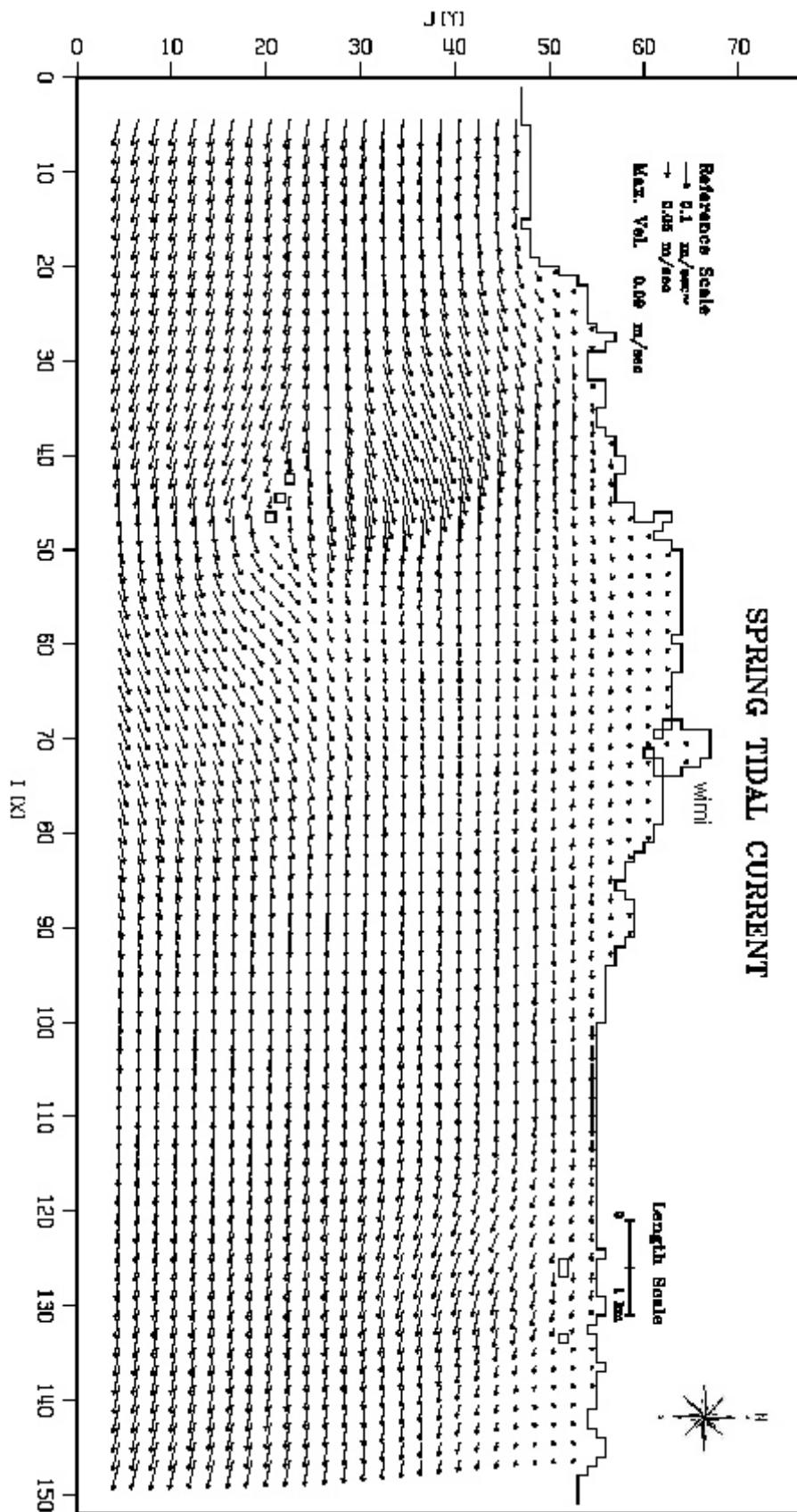


Fig. 50. Distribution of flood current vectors (spring tide).

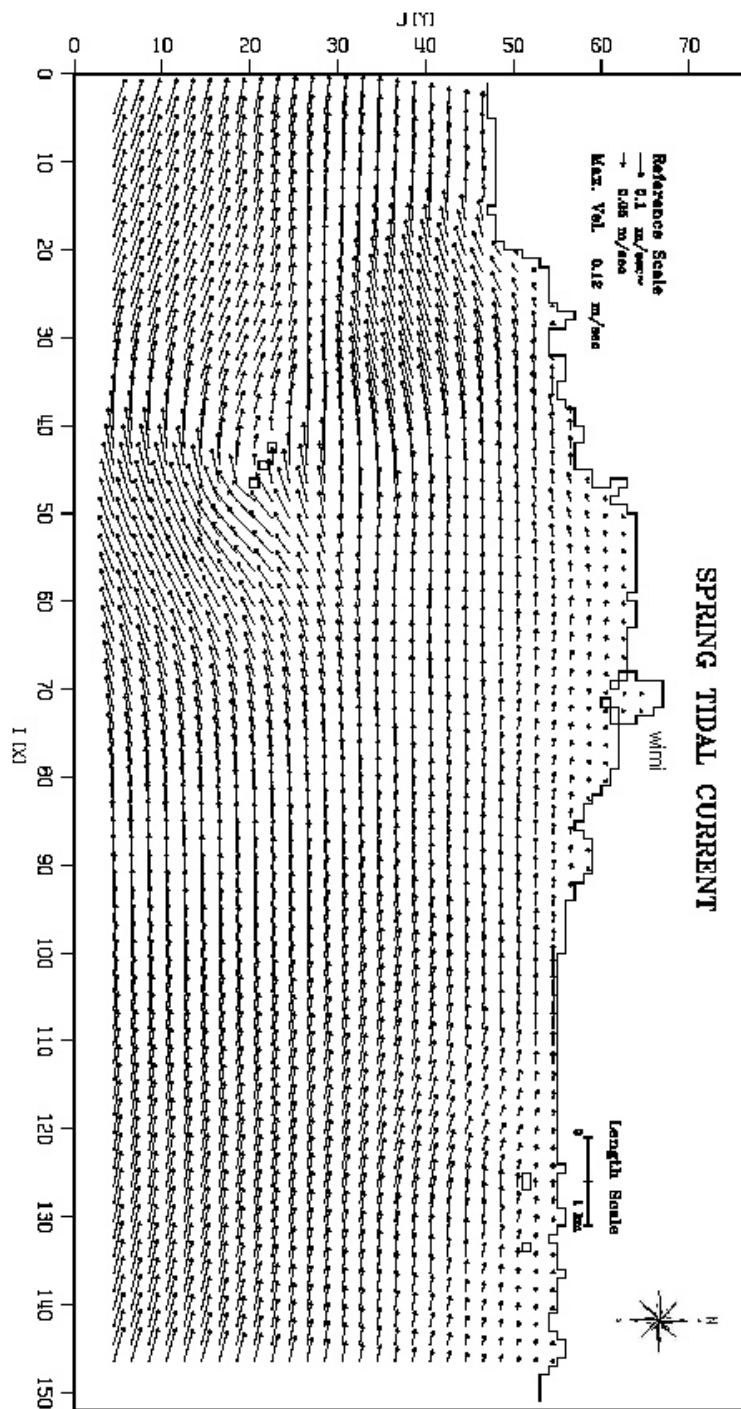


Fig. 51. Distribution of ebb current vectors (spring tide).

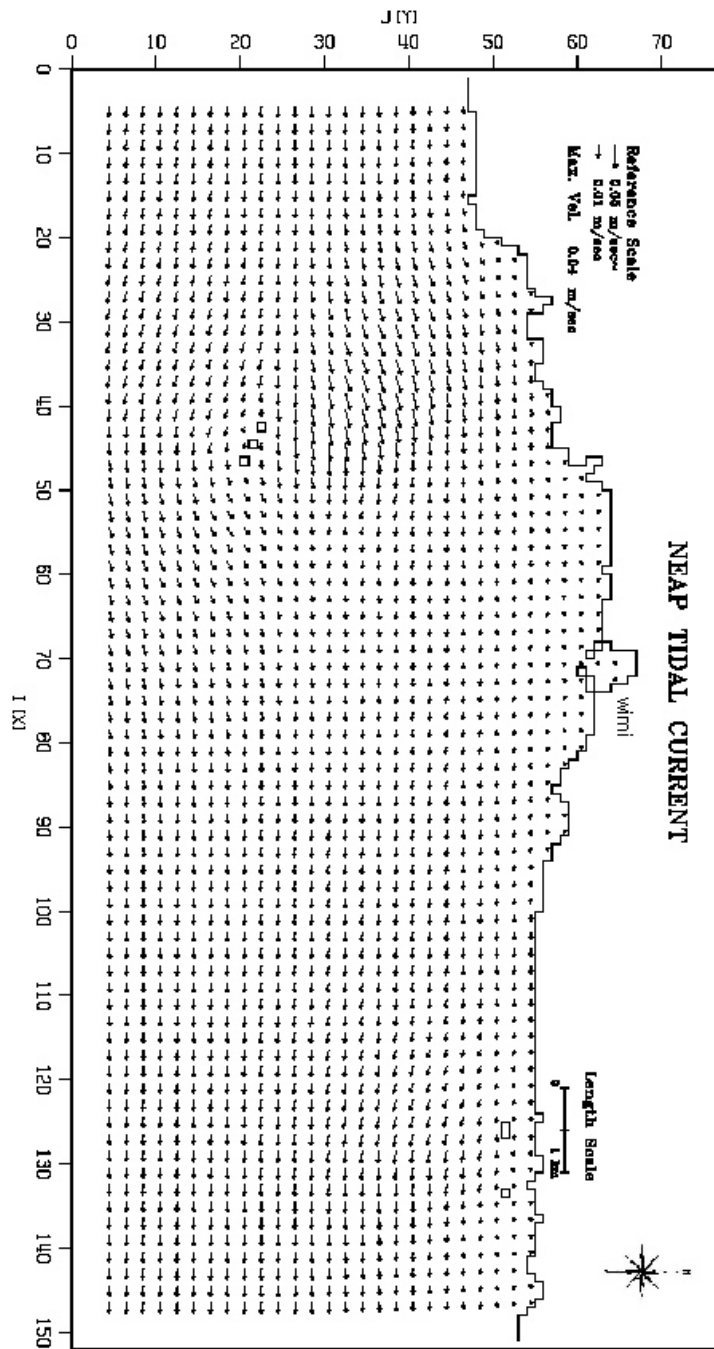


Fig. 52. Distribution of flood current vectors(neap tide).

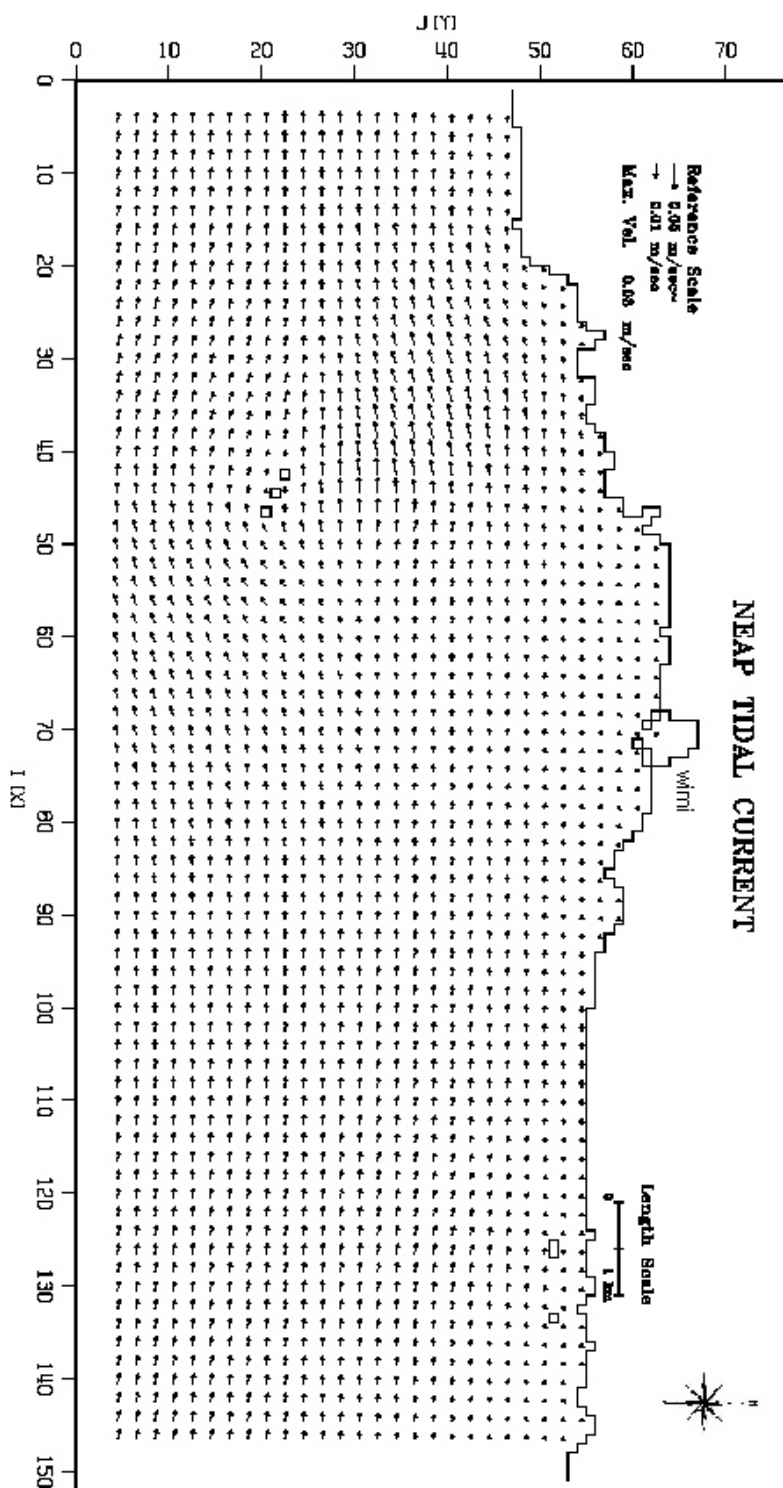


Fig. 53. Distribution of Ebb tide current vectors(neap tide).

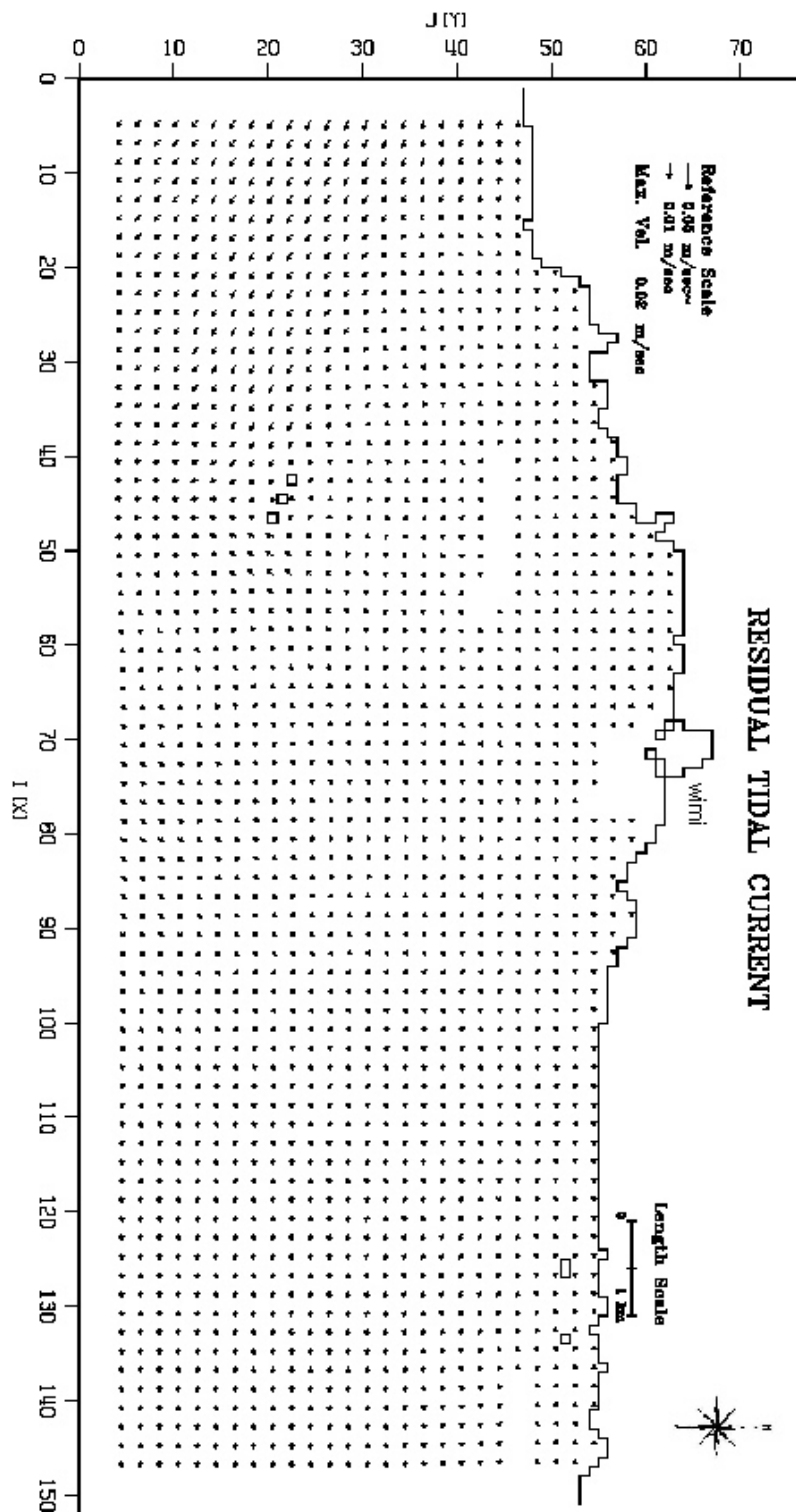


Fig. 54. Distribution of current vectors(tidal residual current).

5절 외해수증양식시설의 관리기술

가두리 관리에 따른 생산량에 가장 영향을 많이 미치는 요소

- 양어장의 규모
- 어류의 밀도
- 효과적인 비용의 급이
- 가두리 내의 수질 유지
- 가두리의 적절한 유지 보수
- 어류의 정기적 질병관리

이 중에서 가장중요한 생산성에 영향을 주는 요소는 급이의 문제이며, 적절한 사료의 공급과 지속적인 관리는 생산성 결정에 중요한 문제이다. 또한 어류의 생태환경 관리 및 양어장의 환경관리가 중요한 요소이다.

1. 생태·환경모니터링 관리

가. 수질관리 및 양식장 환경의 모니터링

※ 수질을 관리하는 일반적인 목적

- 생산량의 손실 방지
- 양식시설의 위치 선정 및 형상 결정
- 양식환경의 감시 및 먹이 섭취율 유지
- 양식어류의 스트레스 저감
- 수질변화의 추이를 이용하여 향후 향상된 설계자료 제공

수질관리의 주요 요소는 용존 산소(DO)와 온도이며, 관측방법은 다음과 같음.

- 일일측정(하루 중 가장 높고 가장 낮을 때- 새벽과 정오, 간조)
- 가두리의 내부와 외부
- 수면과 바다
- 실질적인 관리→ 정기적 측정, 수온이 높은 기간(관찰의 빈도높임), 수조의 증양부의 증양부

기타 관측요소로는 질소(암모니아, 질산염, 아질산염), 용해성 인(phosphorus), pH, 투명도 및 클로로필(엽록소), 독소(암모니아, 아질산염) → 정기적인 간격으로 수행(고수온기에 특히 중요)

2. 어류상태의 모니터링 관리

어류의 샘플링을 통한 양식어류의 정보는 주어진 수조 내에 길러야 할 양식 어류수의 결정, 먹이 공급계획 및 출하 시기와 같은 경영적인 결정을 내리는데 필수적인 자료를 제공.

※ 어류의 샘플링 원칙

- 일정한 간격
- 무게 측정
- 생존율 측정

어류가 성장함에 따라 양식시설 내의 단위 면적 당 생물량(biomass)과 어류의 밀도는 증가. 양식시설내의 어류밀도가 증가에 따라 양식생물의 증식에 문제 발생시
→ 선별

※ 선별시 유의점

- 수조나 양식시설의 활용도 고려 → 비용과 손익 계산
- 기상조건 검토 → 먹이 주기의 혼란, 성장 정지, 또는 체중의 감량

※ 치어의 선별작업 시 유의점

- 성어에 비해 많은 스트레스를 받음
- 치어의 몸체에 직접적인 자극방지
- 물에서 노출되는 시간을 최소화
- 비접촉식의 선별장치에 의해 선별

3. 양식장 모니터링 관리

온도, pH, 산소량 등이 양식시설에 설치된 센서로부터 감지되어 무선송신기를 통해 Base station에 전송되면(CDMA) Base station의 PC 및 Data base sever에 실시간으로 감시 및 저장되어, 저장환경의 변화나 각종 이상 상태에 대비하여 가두리시설내의 생육환경이 적정 수준으로 유지되는지를 확인.

가두리의 모니터링 상태에 따라 무인 사료 급이장치가 연동되며, 영상모니터링을 통해 양식어류의 동작을 해석.

시스템 구성

- 현장관측 및 원시자료 저장부
- 자료송신부(무선, 유선)
- 자료수신부(무선, 유선)
- 자료처리부
- 가시화부
- 연동제어부

(1) 물리·화학적 요소 측정부

본 시스템에서 측정하고 있는 수조의 물리 화학적 환경은 수온, 수심, pH, DO 등의 4가지이다. 수조의 수위 센서, 온도 센서, 산소 센서, pH 센서 등으로부터 발생

된 전기량은 1차 제어부(가두리)의 증폭기를 통해 증폭되어 A/D변환기에 입력되어 변환한 후, CDMA 송신기를 통해 무선송신 및 유선케이블을 통해 전송된다.

(2) 화상(CCD) 감시부

CCD 카메라를 이용한 화상모니터링 시스템은 사육 어류와 수조의 상태를 관찰하기 위해 이용.

모니터에서는 카메라의 정동장치와 연결되어 관측영상의 이동 및 확대가 가능. 또한 야간의 적외선 촬영 시스템을 도입하여 주변조도에 따른 영상의 변환을 통해 주·야간으로 모니터링이 가능할 수 있도록 설계, 카메라의 설치는 수중부와 시설부로 2개의 카메라가 운용.

이와 같은 영상 처리 시스템을 도입하여 물고기의 상태 및 거동 그리고 가두리의 상태 등을 측정해낼 수 있는 장점.

(3) 제어부

가두리의 센서에서 전송되는 각종자료를 이용하여 미리 설정된 경보기준에 위배되는 신호의 발생 시 경고를 발생시키며, 연동된 자동급이 장치의 작동을 제어한다(자동, 수동).

자료제어시스템과 연동되어 실시간 모니터링과 병행하여 자료의 저장이 이루어지며, 장기관측자료를 통해 향후의 가두리설계 및 운용의 기본 자료를 제공.

모니터링에 사용된 각 장비의 이상여부를 모니터링 할 수 있도록 설계하여 해역의 상태 및 모니터링 시스템의 상태를 동시에 확일 할 수 있도록 설계.

수신부의 경우 유·무선 송신이 병행되도록 설계되어 있으며, 유선자료 및 무선자료의 수신부가 각각 구성되어 있음.

모니터링 시스템은 방화벽을 구성하여 인터넷과 연결되어 있으며, 원격접속을 통해 시스템의 원격모니터링이 가능할 수 있도록 함.

(4) 비상 시스템과 통신

비상시스템은 가두리의 이상상태와 모니터링시스템의 이상상태를 구분하여 대비하며, 가두리의 비상시스템의 경우 대처할 수 있는 시공간적인 여유를 두고 경보를 알려 효율적인 가두리의 관리가 가능하도록 하며, 인터넷을 통한 해역의 실시간 기상 및 해황자료를 함께 연동하여 확인.

비상경보 발생시 미리 입력된 상황조건에 따라 각각의 경우의 예를 디스플레이 하며 매뉴얼화 된 대처방법을 통해 비상상황에 대한 대응성을 높임.

4. 어류행동 모니터링 및 관리

어류의 행동을 사람이 의도하는 대로 움직이게 하기 위한 어류행동제어에는 어류의 청각, 시각 등 감각 기관에 음량이나 빛, 기포 등의 자극을 가하는 수단이 사용되고 있다. 어류의 청각을 이용하는 수단으로는 저주파 음향(300~400 Hz의 순음)이 많이 사용되고 있고, 시각을 이용하는 것으로는 빛, 레이저 등이 있음.

청각과 시각을 병용하는 수단으로는 기포막의 사용을 들 수 있으며, 이 외에도 수중에 전계를 발생시켜 양식 어류가 어떤 구역을 벗어나지 못하게 하는 방법도 있다.

어류행동 모니터링의 수단

- 초음파 센서 : 어군 탐지기, 소너(음파에 의한 영상 기록·해석), 바이오텔레메트리(biotelemetry)(초음파 송신기에 의한 어류의 위치 모니터링)
- 화상 센서 : 저조도용 카메라, line-scan 카메라, omni-view카메라, 멀티렌즈 카메라

가. 어류행동 제어

- 빛을 이용한 어류행동 제어

어류에 작용하는 빛

유인광 : 빛의 밝기, 파장 등에 따라 효과가 달라짐.

위협광 : 행동에 대한 차단 혹은 구집, 빛에 대한 부의 반응, 단속광의 명암 주기, 명암 조도 비, 빛의 색깔, 어류 망막의 순응 상태에 따라 그 효과가 달라짐.

- 어류에 작용하는 광의 특징

- 광의 연속성: 연속광, 비연속광
- 광의 분산성: 빔(beam)광, 확산광
- 광원의 위치: 수상, 수중
- 기타 : 광원의 밝기, 색채, 이동 유무 등

- 음향, 기포막, 전계 스크린 등을 이용한 어류행동 제어

음향을 발전소의 어망으로 이용한 어류행동 제어에는 방류한 물고기를 자연에 가까운 상태에서 키우고 필요한 때에 쉽게 어획할 수 있도록 하는 음향 순치, 취수구나 선망 등에서 장애물이 되는 어류의 접근을 막거나 돌려 썬 어군이 탈출하기 어렵도록 하거나 어군을 유집하는 목적으로 활용.

나. 어류행동 모니터링

- 초음파를 이용한 어류행동 모니터링: 어군 탐지기, 소너
- 영상 및 음성을 이용한 어류행동 모니터링: 수중 TV카메라, 청음기
- 초음파 송신기를 이용한 어류행동모니터링: 바이오텔레메트리(어류의 이

동 경로, 유영 속도, 유영 심도, 어두(語頭)의 방위 등을 관측).

5. 급이시스템

가. 사료의 형태 및 저장

양식업의 경영에서 양식비용의 약 40% ~ 60%를 사료가 차지하므로 그 이윤 결정에 많은 영향을 미침.

※ 사료의 종류

- 습식(MP:moist feed): 영양적인 문제, 수중에서의 안정성 문제, 수질 오염 문제, 수송문제, 및 계절적인 공급문제 등의 단점. 특히 저장문제.
- 건식(DP:dry pellet): 수중에서 대단히 안정, 수질의 오염을 저감, 사료의 범용성, 약 1~3%의 비용증가.

일반적인 사료는 잘게 썰어 자른 신선한 잡어 또는 냉동잡어가 가두리 양식 산업에 있어 주된 먹이 사료로 사용되고 있다. 일본의 경우 방어나 돔 종류의 양식, 태국에서의 가물치와 농어, 홍콩에서의 농어 종류의 어류를 비롯하여 노르웨이에서의 몇몇 연어 양식업자들에 의해 사용.

※ 생사료의 문제점:

- 정어리나 고등어류와 같이 쉽게 얻을 수 있는 잡어류 들은 많은 지방을 함유하고 있으며, 티아민 효소가 다량 함유(중독성)
- 박테리아 감염 매체로써 작용

※ 사료의 보관방법

- 사료를 저장용기에 넣기 전에 해로운 물질은 반드시 제거, 소독
- 팩에다 저장하며 땅위 적당한 높이에 저장.
- 환기시설운영, 저온 유지. 합석을 이용한 건축 자재로 사용 안함.
- 해충의 피해 방지.
- 주기적으로 상태검사

나. 급이장치

대부분의어류 양식어장에서 특별한 경우를 제외하고는 1년 내내 먹이가 공급된다. 양식어류의 상태와 특성에 따라 먹이를 먹지 않는 경우 먹이를 공급하지 않아야 한다. 서유럽에서는 대서양 연어(Atlantic salmon)의 먹이 공급 기온이 18°C 이상 오르면 일시적으로 중단하기도 함.

일반적인 양식어장의 급이법은 어류에게 손으로 직접 먹이를 주며, 이는 경제성 때문이다. 냉동된 잡어는 해동하여 적절한 크기로 잘라서 수면 위로 급이. 이와 같은 먹이공급 방식은 많은 노동력을 필요로 하므로 소규모 양식에는 적합하지만 대

규모의 양식장에는 부적합 하고 규모도 제한적이다.

급이기 최근 대부분 대규모 노동집약적인 양어장에서 인건비 절약을 위해서 사용되며, 어류의 먹이 요구에 따른

- 요구식 사료 공급기(demand feeder): 어류가 장치의 먹이 토출 출구봉을 머리 부위로 가볍게 접촉하여 먹이가 자동적으로 공급됨. 값이 매우 싸고, 지속적인 먹이공급 - 메기, 배스, 틸라피아 및 무지개 송어 등
- 조절식 사료 공급기(controlled feeder): 정해진 시간마다 정해진 양의 먹이를 자동으로 공급. 사료전환 효율의 향상, 생산량의 증가, 수질의 개선 및 질병 문제를 개선

외해수증가두리용 급이시스템으로는 조절식 급이기가 적절하며, 이는 원거리에 위치하는 지형적인 상황을 고려할 때 자동급이 및 규칙적인 사료의 관리는 필수적이다.

최근에는 환경 모니터링 시스템이 자동급이기 용으로 개발되기도 하였고, 외력환경(파도, 조류)에 따라 먹이 공급을 중단할 수 있는 시스템으로 발전.

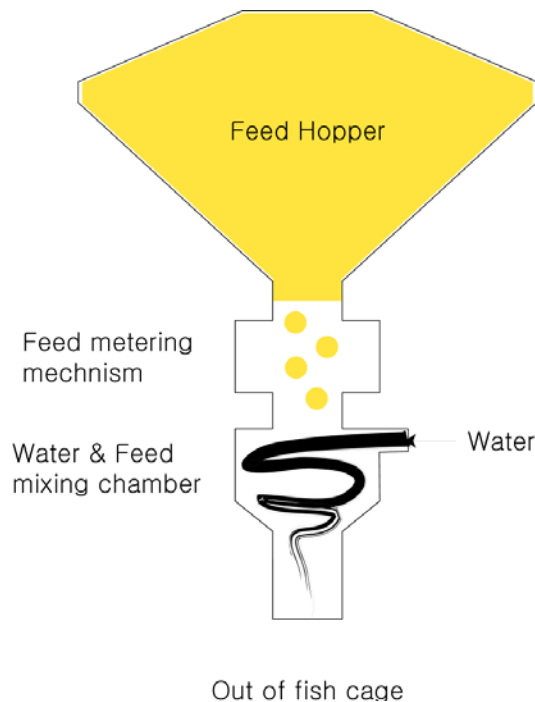


Fig. 55. Auto feeder for offshore aquaculture system.

6. 예산

외해수증양식시스템은 기존 양식시스템에 대한 새로운 양식패러다임을 wjprhdgk1는 첨단기술이다. 따라서 종합적이고, 체계적인 관리가 필요하며, 개인의 이익이나 상업성에 지배를 받아서는 새로운 무너제를 야기 할 수 있다. 따라서 국가의 정책적인 지원이 수반되어야 하며, 국가의 정책적인 지원과 더불어 R&D 사업으로 확장 전개할 수 있는 예산의 지원 및 확보가 중요함.

Fig. 46은 국내로는 Seagrant 사업과 연계하며 국제적으로는 미국측 Seagrant사업과 연계된 정부차원의 예산확보와 대학 및 연구기관의 연구시설 및 연구인력의 지원 및 양성, 관련 기업체의 R&D 개발을 위한 신기술 개발사업 참여를 통해 산·학·연·관이 국제적·종합적으로 거시의 컨소시움을 구축하여 양식산업의 새로운 패러다임의 구축이 이루어져야 한다.

세부적인 소요예산으로는 외해양식시설의 설치, 관리선박 및 관리 인원의 운용 예산, 사료 및 급이 수확을 위한 장비의 확보, 육상 원격관리시설의 설치 및 운용의 예산이 필요하다. 양식어장의 설치에 따른 환경변화 모니터링과 어장관리인력의 수급 및 유지예산과 청정생산물의 수확을 위한 양식어장 환경모니터링시설의 설치 및 운용의 예산이 필요하다.

Fig. 47은 외해수증양식시설을 설치 운용하기위한 소요예산의 모식도이다.

Sea Grant 사업 한미공동 연구조직구성 및 예산확보 방안

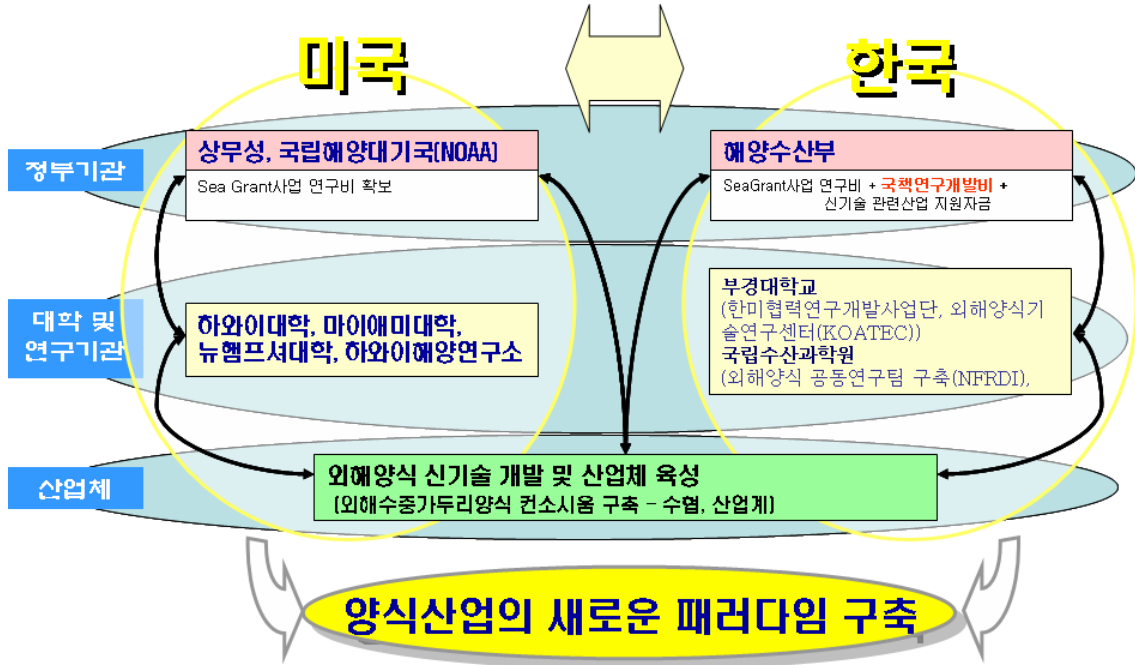


Fig. 56. Co-work and foundation of Sea-Grant project.

외해수중양식기술개발 소요예산

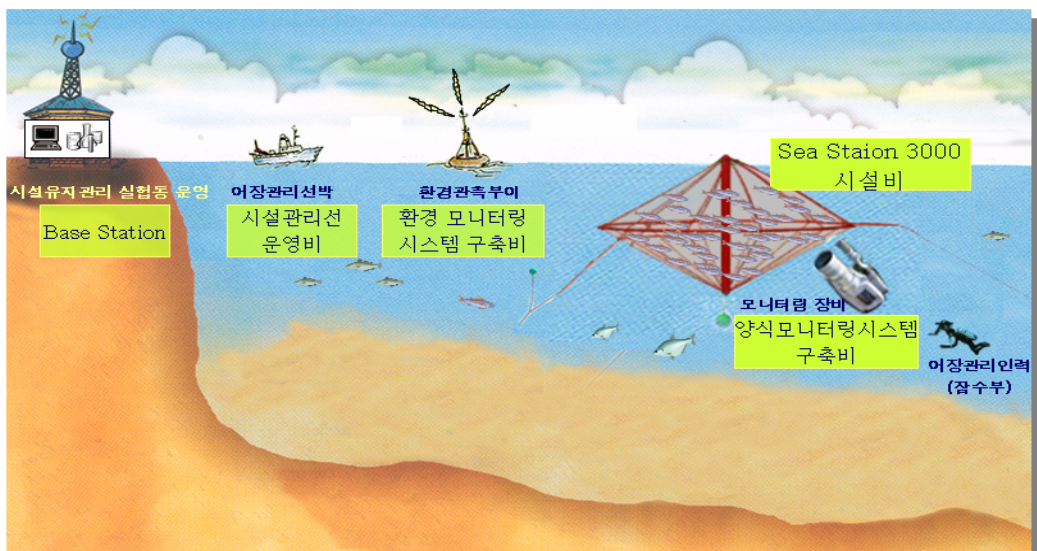


Fig. 57. Foundation for development of offshore aquaculture system.

4) 관리지원 시스템

이상의 외해수증양식기술 요소 이외에도 설치해역이 심해이고, 설치형식이 수증인 점을 고려하면 장기적이고 전문적인 관리 및 경영 인력의 유지와 양성이 양식의 성패를 좌우 한다.

외해수증양식의 관리인력은 외해의 해양환경특성에 익숙한 관리자가 필요하며, 황천시 양식시설을 보호하기위한 숙련된 기술이 필요한 전문가가 필요하다. 특히 육상시설 외에 수증시설의 관리는 인력에 의존할 수 밖에 없는 실정이며, 따라서 숙련된 스쿠버다이버의 양성 및 교육이 필수적이다.

외해수증양식 전문가의 경우 국내에는 많이 배출되지 못해 국외의 기술을 도입하여야 하는 실정이며, 국가기관의 공식적인 교육지원은 한계를 가지고 있겠지만 수협차원의 어민지도 및 전문가 양성이야말로 중요한 사회기반자원을 구성할 수 있는 길이다.

또한 양식어종 생산에 따르는 유통·물류 시스템구축 또한 중요한 문제이며, 크게 국내 유통과, 국외유통의 방법을 준비하여야 할 것이다. 특히 초기 시설도입기에는 명확한 유통구조의 확보가 중요한 경영수지강화의 길이므로 일괄적인 판매 경로를 확보하는 데에 중점적으로 하여야 하며, 차후 국내·국외의 인식 재고 및 품질향상을 통한 수요의 증가를 유도하여 다양한 판매 경로를 확보하여야 한다.

특히 초기의 생산은 정부 혹은 공신력 있는 기관(수협)의 위탁 관리로 영세 어민들 간의 경쟁 및 과열화를 방지하여야 하며, 기존의 천해양식에서 발생된 제반문제를 고려할 때 초기 도입기에는 위탁 관리로 외해수증양식산업이 정착된 후 체계적인 기술이양으로 어민의 소득증대를 기대하여야 할 것이다.

또한 외해수증양식의 개발에 따른 인접국가간의 마찰의 요소도 함께 고려하여야 하며, 인·허가와 관련된 제반 새로운 외해양식법안의 제정도 선결되어야 할 문제이다.

6절 한·미 공동연구

한·미 공동연구사업 관련 시설분야 공동연구로서 기존의 해양선진국에서 개발한 외해수증가두리(SST3000)에 대한 공동연구를 수행하였다.

개발에서 현장 적용성까지 검토된 SST3000의 예를 통해 우리나라 외해수증양시설의 기본방향을 검토할 수 있으며, 나아가 한국형 외해수증양시설의 개발까지 가능 할 것이다.

SST3000의 제원은 다음과 같다.

1. Sea Station 3000 시스템

- 성능

수면위 2m 의 원형

0m에서 3.5m 범위의 수면위 구조물

침설을 위해서는 부력 챔버를 이용하여 5분 소요

침설 깊이: 증양추에 연결된 연결선에 의한 깊이조절

견인 한계: 초속 65cm 이하(그물상태가 양호한 경우)

용량: 3000 m³

- 주요제원

Spar Bouy : 직경 0.92 m, 길이 15.4 m, 10mm 아연도금

5.8 m 부력조절 Chamber

침자: 4.94 ton

Rim : 직경 25.6 m, (0.273 m 직경의 강제파이프, 아연도금)

그물:

35.5 mm 4ply TUC(Hex Mesh)

42 mm 4ply UC(Diamond Mesh)

42 mm 8ply UC(Diamond Mesh)

50 mm 4ply UC(Diamond Mesh)

50 mm 8ply UC(Diamond Mesh)

76 mm 4ply UC(Diamond Mesh)

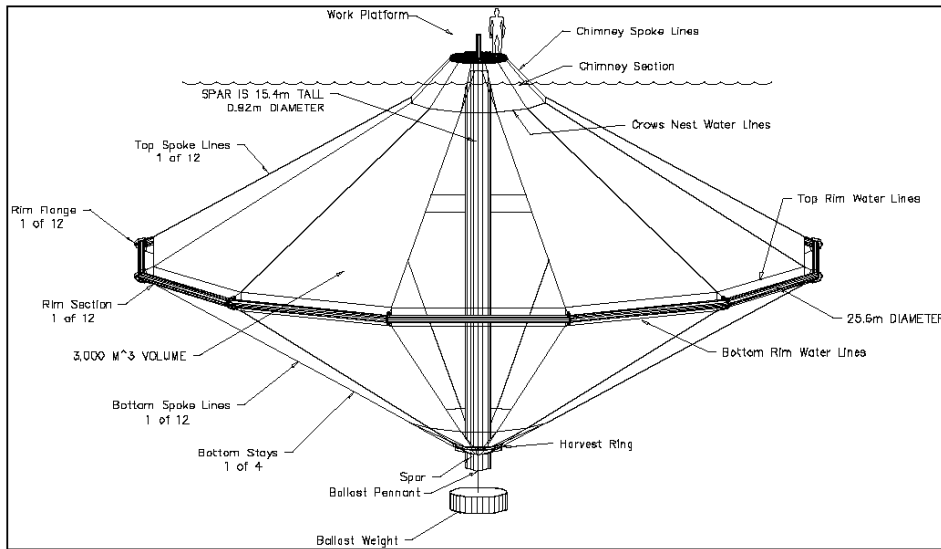


Fig. 58. SST3000(OST).

2. Sea Station 3000 시스템의 역학적 특성

SST3000에 작용하는 유체력은 다음과 같다.

$$F_{DRA}G = \frac{1}{2} \rho A C_D U^2 \quad (27)$$

ρ 는 해수의 밀도, A 는 SST 3000의 투영단면적, U 는 유속, C_D 는 항력계수이며, 각 항은 파랑에 의한 요소와 점성에 의한 요소로 구분되며 다음과 같다.

$$C_D = C_D(F, R) = C_W(F) + C_f(R) \quad (28)$$

전항의 경우 파랑에 의한 항이며, 후자는 점성에 의한 항이다. 이 중 F_r 및 R_c 는 아래와 같이 표기된다.

$$F_r = \frac{1}{2} \rho A C_D U^2 \quad (29)$$

$$R_c = \frac{D U}{\nu} \quad (30)$$

따라서 각 항을 정리하면 전체 견인력은 다음과 같이 표현된다.

$$F_{DRA}G = \frac{1}{2} \rho A C_W (F) U^2 + \frac{1}{2} \rho A C_f (R) U^2 \quad (31)$$

SST3000에 작용하는 유체력에 대한 수리모형실험 및 수치모형실험결과 (Fredriksson, 2003)는 다음과 같다.

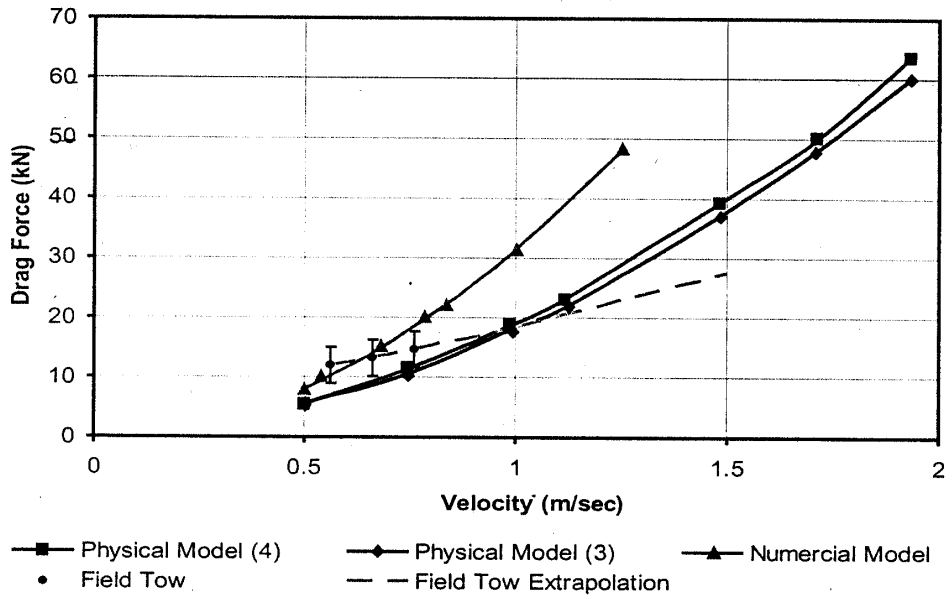


Fig. 59. Tow test result comparison(Physical model, Numerical model, Field Tow).

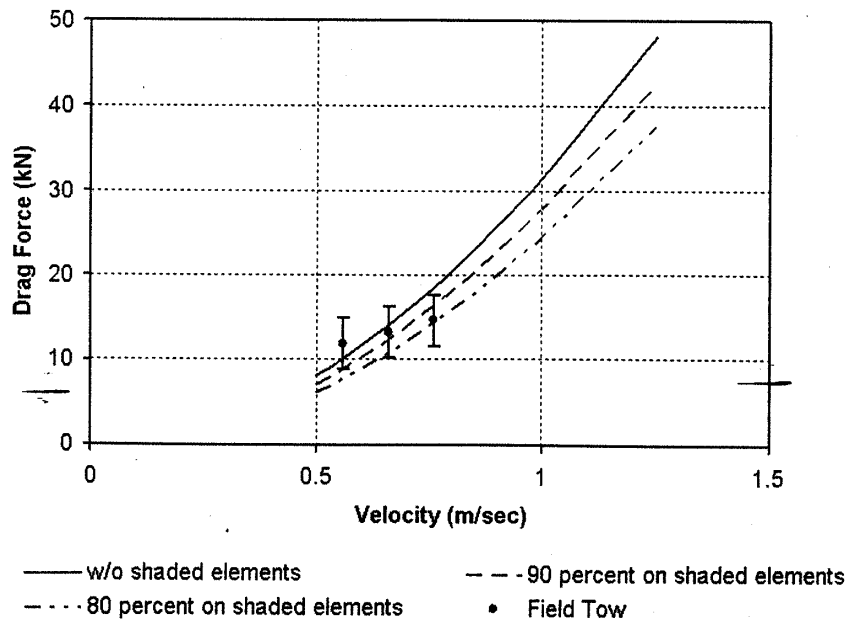


Fig. 60. Numerical model test shaded element(Shaded element, 80% Shaded element, 90% Shaded element, Field tow).

3. 한·미 외해양식기술연구센터(KOATEC)

금번 Sea-Grant 사업을 수행하면서 미국측 기상대기국(NOAA)과 한국 해양수산부(MOMAF)간의 공동연구의 정기적이고 지속적인 연구의 공유를 위해서 한국의 부경대학교 내에 한·미 외해양식기술연구센터를 두어 양국의 연구활동(Sea-Grant)지원 및 국내의 연구기술개발을 지원하는 센터를 설립하여 운영하고 있다.

KOATEC은 중앙에 대학, 연구소, 산업체가 참여하는 운영위원회를 두고, 국가기관 및 전문가로 구성된 자문위원회를 두어 센터의 운영에 자문을 받는다. 센터 내에는 연구그룹과 실해역 양식그룹으로 구성되어 센터내의 외해양식시스템의 설계, 관리, 환경모니터링 등의 외해수증양식과 관련된 제반기술을 연구하고, 현장 양식그룹에서는 센터내의 연구성과를 실해역에 적용하여 친환경 청정 수산물의 생산을 위한 현장 시설의 관리, 수확, 인력 교육을 담당한다.

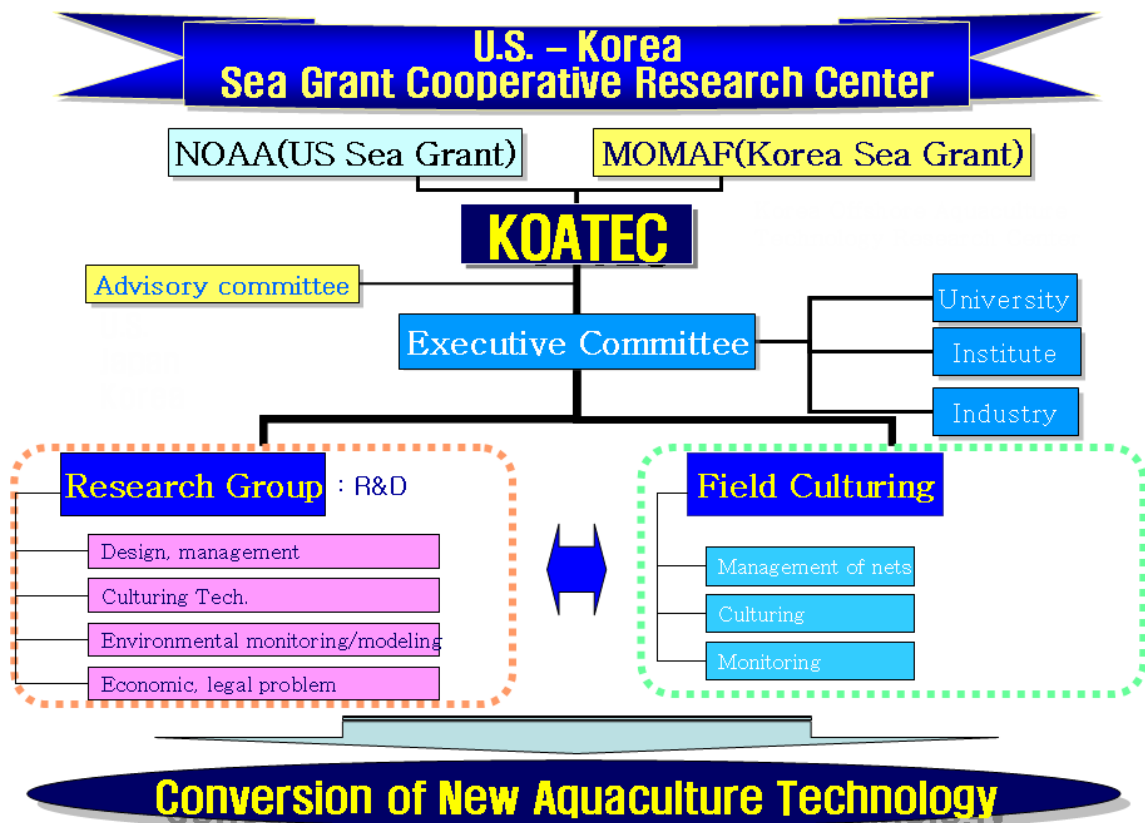


Fig. 61. Korea Offshore Aquaculture TEchnical research Center(KOATEC).

7절 요약 및 결론

이상으로 외해수증양식시설의 설계·건설·관리 기술개발을 위해서 적지선정을 위한 우리나라해역의 수산공학적 특징과 적용성을 검토하여 광역의 적지선정기술과 현장조사를 통한 협의의 적지선정을 실시하였다. 광역의 적지검토를 통해 동해안과 남해안 제주의 적용성을 확인 하였으며, 협의의 현장조사를 통해 대상해역의 지형에 따른 외해수증양식시설의 적지 특성을 파랑, 흐름 그리고 수질(수온, 염분)을 통해 확인 할 수 있었다.

또한 적정설계외력 결정을 위한 대상해역의 설계파랑 및 설계유속의 산정을 실시하여 공학적인 50년 설계파랑에 대한 대상해역의 설계파랑과 연안의 조석에 기인한 설계흐름을 산정하였다.

이외에도 외해수증양식시설의 관리 및 생산성향상을 위한 환경모니터링, 가두리 모니터링 기술 그리고 자동급이기술을 확인하였다. 또한 수산선진국과의 공동연구 및 인적교류를 통한 국제공동연구사업을 위해서 한미외해양식기술협의회를 통한 미국 NOAA측과의 공동연구도 진행되어 기 개발된 외해수증양식시설인 SST3000의 한적용성에 대해 공동연구를 수행하였다.

외해수증양식기술은 현재 우리나라의 수산양식이 처해있는 한계를 극복하고, 향후 양식산업을 이끌어갈 새로운 패러다임으로 정립되어야 한다. 양식산업 전반의 문제를 권역별로 재분배하고 권역별 종합관리를 통한 양식산업 관리만이 현재 연안역의 질병과 태풍 그리고 적조를 야기하는 밀식 천해양식의 근원적인 해결방안이 되며, 그 필수 요소기술로서 외해수증양식기술의 개발이 중요하다 할 것이다.

4장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

외해수증양식시설의 설계·건설·관리 기술개발을 위해서 아래의 그림과 같이 연구개발목표의 달성을 이루었으며, 세부적으로

- 적지선정을 위한 우리나라해역의 수산공학적 특징과 적용성을 검토
 - 광역의 적지선정기술과 현장조사를 통한 협의의 적지선정
 - 광역의 적지검토를 통해 동해안과 남해안 제주의 적용성을 확인
 - 협의의 현장조사를 통해 대상해역의 지형에 따른 외해수증양식시설의 적지 특성을 파랑, 흐름 그리고 수질(수온, 염분)을 통해 확인
- 적정설계외력 결정을 위한 대상해역의 설계파랑 및 설계유속의 산정을 실시
 - 50년 설계파랑에 대한 대상해역의 설계파랑 산정
 - 연안의 유동장 계산을 통한 설계흐름 산정
- 외해수증양식시설의 관리 및 생산성향상을 위한 기술
 - 환경모니터링
 - 가두리 모니터링 기술
 - 자동급이기술
- 수산선진국과의 공동연구 및 인적교류
 - 한미외해양식기술협의회를 통한 미국 NOAA측과의 공동연구
 - SST3000의 수리학적 특성 및 한국 적용성

본 연구는 외해수증양식기술 개발을 위한 제반 지식과 응용가능한 공학적 기술을 도입하여 적용하였으며 이러한 기술개발은 기존의 단순한 어항과 양식시설의 분리된 설계개념에서 통합된 연안역 양식관리방안에 입각한 어항 및 양식시설(천해양식 시설, 외해양식시설)의 설계가 가능 할 것이며, 한국형 외해수증양식시설의 개발을 위한 기초적인 연구가 될 것이다.

연구개발 목표 달성도

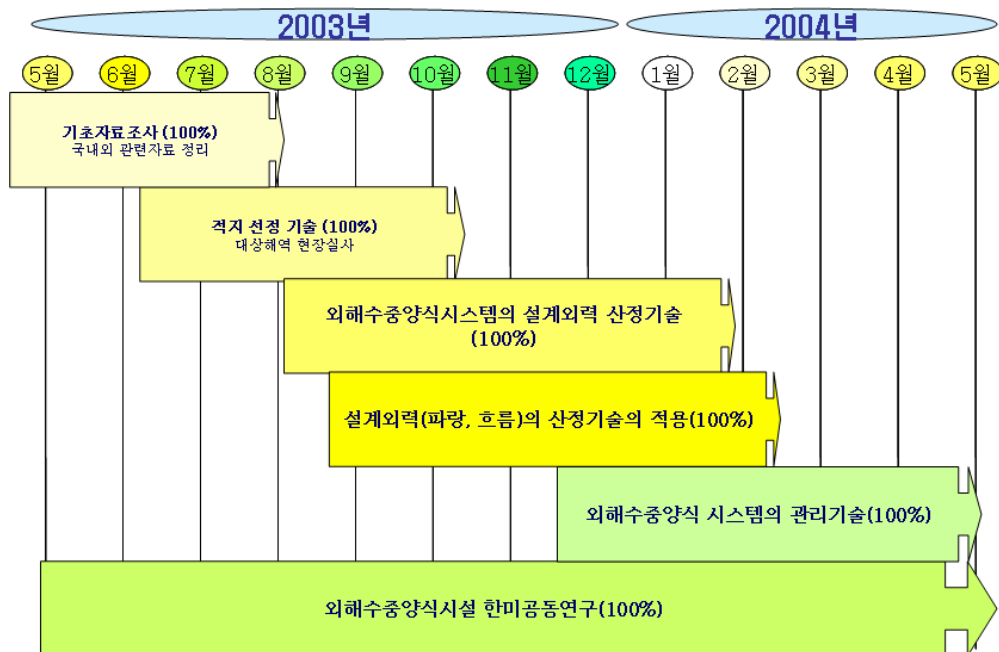


Fig. 62. Achievement of research.

5장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구의 개발결과는 기존 항만설계기준과 어항설계기준을 확장하여 수산시설의 설계에 필요한 외력의 산정기술을 제공하며, 현장조사를 통한 더욱 공학적이고, 종합적인 수산시설의 설계기법으로서 응용될 수 있을 것이며, 외력 산정기술과 국제 공동연구자료를 응용한 한국형 외해수증양식시설 설계기술 까지 확장하고자 한다.

금번 연구를 통해 배출된 석·박사 전문가와의 지속적인 연구 성과 공유 및 전문가양성을 통해 한국형 외해수증양식 기술의 정착을 위한 인력양성을 계속해 나갈 것이다.

또한 향후 전해역에 대한 심해설계파 제원의 재평가를 통해 천해 설계파의 재평가가 이루어 질 것이며, 이러한 수산시설의 설계외력을 위한 중요한 기초 자료가 될 것이다.

6장 참고문헌

- B.A., Cialone, M.A. and Prater, M.D. "Regional costal processes numerical modeling system," Report 1, RCPWAVE-A linear wave propagation model for engineering usa, Technical Report CERC-86-4, US Army, Corps of Engineer WES, Vicksburg, Mississippi, 1986.
- Bowman, T. E. and L. G. Abele. "Classification of the recent crustacea. In: L. G. Abele (ed.)". The biology of crustacea. vol. 1, pp. 1-27. Academic Press, New York. 1982.
- CHRISTOPHER J. BRIDGER AND BARRY A. COSTA-PIERCE, OPEN OCEAN AQUACULTURE From Research to Commercial Reality, WORLD AQUACULTURE Society, pp.151,187,199, 2003.
- Ebersole, B.A., Cialone, M.A. and Prater, M.D. "Regional costal processes numerical modeling system," Report 1, RCPWAVE-A linear wave propagation model for engineering usa, Technical Report CERC-86-4, US Army, Corps of Engineer WES, Vicksburg, Mississippi, 1986.
- Elder, J. W. The Dispersion of Marked Fluid in Turbulent Shear Flow, j. Fluid Mech., Vol. 5, 544-560. bersole, 1959.
- Falconer, R.A., A two-dimensional mathematical model study on the nitrate levels in an inland natural basin, Proc. Inter. Water Quality Modelling in the Inland Natural Environment, BHRA, Fluid Engineering, Bournemouth, Paper J1, pp. 322-344, 1986.
- Falconer, R.A., Review of modelling flow and pollutant transport processes in hydraulic basins, Proc. of 1st Int. Conf. Water Quality Modeling in the Inland Environ,, BHRA, Fluid Engineering, Bournemouth, Paper J1, pp. 325-344, 1991.
- Goda, Y. Random sea and design of amrine structures. Univ. of Toyko press, 1975.
- Kenneth D. Black, ENVIRONMENTAL IMPACTS OF AQUACULTURE, SHEFFIELD Academic Press, 2001.
- Longuet-Higgins, M.S., Longshore current generated by obliquely incident sea waves. 2, Jour. of Geophy. Res., 75(33), pp. 6790~6801, 1970.
- Ludwig, J.A., J. F. Reynolds, Statistical Ecology : a primer on methods & computing. John Wiley & Sons. Inc, 1988.
- Masuda, H., K. Amaoka, C. Arago, T. Ueno and T. Yoshino (eds.). 1984. The Fishes of the Japanese Archipelago. Tokai Univ. Press. Tokyo, Japa. 437pp+370 plates.
- Longuet-Higgins, M. S. On the statistical distributions of the heights of sea

- waves. Jour. Mar. Res. pp245~266
- R.R. Stickney and J.P. McVey, Responsible Marine Aquaculture, WORLD AQUACULTURE SOCIETY, 2002.
- Thomas B. Lawson, Fundamentals of Aquacultural Engineering, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1995.
- Wilson, B. W., Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December 1959.
- 金子安雄 et al., ADI법により潮流汚染擴散の數値計算, 港灣技術研究所報告, Vol.6, 1975.
- 實吉純一・菊池喜充・能本乙彦. 1989. 超音波技術便覽(新訂版). 日刊工業新聞社. 東京. 日本. pp1892.
- 堀江 毅, 沿岸海域の水の流れと物質の擴散に関する水理學的研究.
- 山路勇. 日本海洋プランクトン圖鑑. 保育社, 大阪, 1982.
- 강시환 등, 해난·재해예보시스템 연구, 해양연구소, BSPE-00056-87-1, pp317, 1985
- 국립수산과학원, 양식어장 저질개선 기술개발, 1993.
- 기상청, 한국기후표(1971~2000), 2001.
- 기상청, 기상연보, 2002.
- 노홍길·김동수·김상현, 수산해양학, 제주대학교 출판부, pp. 30, 2004.
- 류청로, 사석방파제의 수리학적 최적설계에 관한 기초적 연구, 오사카대학교공학부 토목공학과 박사학위논문, p162, 1984.
- 배승철 등, 어류 영양과 사료, 삼광출판사, pp.99, 1998.
- 부경대학교 해양산업개발 연구소, 양식공학, 부경대학교 출판부, 1996.
- 유성규, 천해양식, 구덕출판사, 2003.
- 유동훈, 원유승, 방조제 주변 설계파 추정, 한국해안·해양공학회 발표논문초록집, 1996.
- 최 효, 등. 동해에서 발생하는 태풍에 관한 파랑의 산정에 관한 연구, of Kor, Met, Soc. Vol 15, No. 1, pp35 ~ 42, 1979.
- 해양수산부, 내파성 양식시설개발에 관한 연구(I), 1994.
- 해양수산부, 항만설계 천해파 추정정보고서, 1988.
- 해양수산부, 항만시설물 설계기준서, 항만청, 1993.
- 한국해양연구원, 한반도 주변 조석조화상수 자료집, 1996.
- 한국해양연구원, 해상파랑관측 및 조사, 해양수산부, pp. 8, 31-33, 1998.
- 한국해양연구원, 해역별(동해, 남해) 심해파 추정정보고서, 수산청, pp.129, 1988.