

제주해역에 적합한 외해 양식시설물 설계기술 개발

Development of Design Technology for Offshore Aquaculture Facility Suitable to Jeju Sea

주관연구기관	제주대학교
연구책임자	조일형
발행년월	2012-05
주관부처	교육과학기술부
사업관리기관	한국연구재단
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201300010232
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/02 17:26:39

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

일반연구자지원사업 최종(결과)보고서

							양식A101	
① 부처사업명(대)	기초연구사업			보안등급(보안, 일반)		일반		
② 사업명(중)	일반연구자지원사업			공개가능여부(공개, 비공개)		공개		
③ 세부사업명(소)	지역대학우수과학자							
④ 과제성격(기초, 응용, 개발)	기초	④-1 실용화 대상여부(실용화, 비실용화)						
⑤ 과제명	국문	제주해역에 적합한 외해 양식시설물 설계기술 개발						
	영문	Development of Design Technology for Offshore Aquaculture Facility Suitable to Jeju Sea						
⑥ 주관연구기관	제주대학교							
⑦ 협동연구기관								
⑧ 주관연구책임자	성명	조일형		직급(직위)				
	소속부서	해양시스템공학과		전공	부유체 공학			
⑨ 연구개발비 및 참여연구원수 (단위: 천원, M·Y)								
년도	정부출연금 (A)	기업체부담금			정부외 출연금 (B)	상대국 부담금 (F)	합계 G=(A+B+E)	참여 연구원수
		현금 (C)	현물 (D)	소계 E=(C+D)				
1차년도	45,000			0			45,000	2
2차년도	45,000			0			45,000	2
3차년도				0			0	
4차년도				0			0	
5차년도				0			0	
합계	90,000	0	0	0	0	0	90,000	4
⑩ 총연구기간	2010. 05. 01 - 2012. 04. 30 (24개월)							
⑪ 다년도협약연구기간	기재하지 않음							
⑫ 당해연도연구기간	2011. 05. 01 ~ 2012. 04. 30(12개월)							
⑬ 참여기업	중소기업수	대기업수		기타		계		
							0	
⑭ 국제공동연구	상대국연구기관수		상대국연구개발비		상대국연구책임자수			
<p>관계 규정과 모든 지시사항을 준수하면서 국가연구개발사업에 따라 수행 중인 연구개발과제의 최종보고서를 붙임과 같이 제출 합니다.</p> <p style="text-align: center;">2012 년 5 월 일</p> <p style="text-align: center;">주관연구책임자 : 조 일 형</p> <p style="text-align: center;">주관연구기관장 : 제주대학교 산학협력단장</p> <p style="text-align: center;">교육과학기술부장관 귀하</p>								

< 목 차 >

I. 연구결과 요약문

II. 연구내용 및 결과

1. 연구과제의 개요 4
2. 국내·외 기술개발 현황 4
3. 연구수행 내용 및 결과 4
4. 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도 7
5. 연구결과의 활용 계획 8
6. 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 8

III. 연구성과

I. 연구결과 요약문

본 연구사업에서는 파도가 높은 제주해역에 적합한 독창적인 외해 양식시설물을 설계하기에 필요한 핵심 요소기술들을 개발하고 이들을 통합하여 양식시설물의 설계 패키지를 개발하는 것이 최종 목표이다. 이를 효과적으로 달성하기 위하여 전체 연구분야를 크게 ① 설계과 선정을 위한 파랑변형 수치모델 개발, ② 파랑/흐름중 양식시설물의 운동응답 해석 및 계류시스템 설계, ③ 투과성 그물망에 작용하는 파랑하중 해석, ④ 흐름중 그물망의 하중 및 거동 해석, 등 4개의 분야로 나누어서 연구를 진행하였다. 각 분야에서 도입한 가정들과 이론들은 다른 분야와 상충되는 측면도 없지 않으나 이는 각 요소기술들을 통합하는 과정에서 조정/보완할 것이다. 또한 각 분야에서 개발된 수치계산결과를 검증하고 계산결과의 정확성을 높이기 위하여 모형제작과 함께 조파수조내에서 일련의 모형실험을 수행하였다.

① 분야에서 개발된 수치모형은 파랑변형 모델로서 외해의 파랑조건(파고, 주기)으로부터 연안역의 파고 및 파향 분포를 계산할 수 있다. 모델의 기본방정식은 완경사 방정식(mild slope equation)으로 수심과 흐름에 의한 굴절(refraction)과 천수(shoaling) 현상을 고려한다. 또한 계산영역내에 방파제와 같은 연안 시설물이 위치할 때 반사율과 투과율을 부가하여 구조물의 회절영향도 고려할 수 있다. 계산으로 제주도 북쪽 해안에 적용하여 파고 분포도와 파향 벡터도를 구하였다. 앞으로 제주도 연안 설계과(파고, 주기) 추정시 활용될 것이다.

② 분야에서는 현재 제주도 해역에 설치된 Sea Station 수중 양식시설물(직경=35.4m, 높이=23.9m)을 대상으로 흐름과 파랑중 6자유도 운동특성(surge,sway,heave,roll,pitch,yaw)과 계류로프에 작용하는 동적장력을 수치계산하였다. 해석방법은 선박과 해양플랜트의 운동성능 평가에서 널리 사용되고 있는 선형포텐셜(linear potential theory)에 이론에 근거한 시간영역에서의 경계요소법(Boundary Element Method)을 사용하였으며 계류로프는 4점 계류로 현수선(Catenary Line)해석법을 사용하였다. 일정한 공극율을 갖는 그물망을 현재의 수치해석 기법으로 구현할 수 없어 완전히 막힌 면으로 가정하여 해석하였다. 흐름속도와 파랑조건 그리고 흐름과 파의 진행방향을 바꿔가면서 수중 양식시설물의 운동특성과 계류라인의 장력특성을 살펴보았다.

③ 분야에서는 일정한 공극율을 갖는 투과성 그물망으로 이루어진 원통형 양식시설물에 작용하는 파랑하중을 고유함수전개법을 사용하여 해석하였다. 그물망에서의 경계조건식으로 그물망을 통과하는 속도값은 그물망 전후의 압력차에 선형적으로 비례한다는 Darcy의 법칙을 적용하였다. 그물망의 공극율 계수와 양식시설물의 잠긴 위치(부상식, 착저식)를 변화시키면서 양식시설물에 작용하는 파랑하중과 파도응답을 살펴보았다. 한편 그물망의 거동특성을 살펴보기 위하여 유탄성이론을 도입하여 파랑중 유연한 그물망의 동적거동과 파랑하중을 살펴보았다. 계산에 사용한 그물망은 일정한 잠긴깊이를 가지고 수직으로 설치되어 있으며, 상단 끝은 수면에 고정되어 있고 하단 끝은 추에 연결되어 있다. 유연한 그물망에서의 경계조건식은 투과효과를 나타내는 Darcy의 법칙과 유연성을 나타내는 물체 경계조건식이 결합된 형태이다. 해석모형을 이용하여 여러 설계변수(파랑특성, 공극율, 잠긴깊이, 초기장력)들의 변화가 그물망의 파랑하중과 거동특성에 미치는 영향을 살펴보았다.

④ 분야에서는 양식시설물의 그물망을 여러개의 그물 요소(element)들로 모델링하여 유한요소법에 근거하여 파도/흐름에 대한 각 그물 요소의 항력과 양력 그리고 거동을 계산하였다. 이를 합하여 그물망 전체의 하중 및 응답을 계산하였다. 본 연구에서 상용코드인 OrcaFlex을 사용하였고, 수치계산 결과는 (Lader and Enerhaug,2005)의 실험결과와 비교하였다.

II. 연구내용 및 결과

1. 연구과제의 개요

현재 국내 양식시설물은 주로 내만이나 보호된 연안역에 놓여있다. 산업화와 도시화 그리고 연안역 개발에 따른 오염의 증가로 내만이나 연안역은 양식장의 적지로써의 가치를 점차 잃고 있는 실정이다. 따라서 파도와 흐름은 훨씬 강하지만 수질이 양호한 외해에서 현재의 양식산업의 활로를 개척하려는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 거친 해양환경조건하에서 견딜 수 있는 양식시설물을 개발하기 위해서는 좀 더 엄격한 설계기준과 새로운 공학기법들이 요구된다. 외해 양식시설물 설계를 위한 고려 사항들로는 ① 양식어류의 스트레스의 줄이고 안정한 작업환경을 제공하는 시설물의 구조형식, ② 해수교환이 가능하고 오폐물이 쌓이지 않는 구조, ③ 파랑에너지를 피하거나 흡수하는 형식이나 재질, ④ 자동 급이시설 및 위치 유지시스템 확보 등이 있다. 본 연구사업에서는 파도가 높은 제주해역에 적합한 독창적인 외해 양식시설물을 개발하기 위하여 설계에 필요한 다양한 요소기술들을 개발하고 이를 통합한 외해 양식시설물의 설계기술기법을 개발한다. 전체 연구내용을 크게 ① 설계과 선정을 위한 파랑변형 수치모델 개발, ② 양식시설물 운동응답 해석 및 계류시스템 설계, ③ 투과성 그물망에 작용하는 파랑하중 해석, ④ 흐름중 그물망의 하중 및 거동 해석 등 4개의 분야로 나누어서 연구를 진행하였다.

2. 국내외 기술개발 현황

현재 시판중인 파도에 강한 외해 가두리 양식시설물을 설치 수심에 따라 분류하면 부상식(floating type), 반잠수식(semi-submersible type), 잠수식(submersible type)으로 나눌 수 있고, 사용한 재질에 따라 분류하면 강체(rigid)와 유연체(flexible) 2가지 종류이다. 각각의 형식과 재질은 서로 장단점이 있어 현재 시판중인 외해 양식시설물들 중 어느 것도 비교 우위에 있다고 볼 수 없다. 즉, 설치지점의 환경조건, 초기투자비, 양식어류, 설치기간, 계류방식, 자동화 등 모든 요건들을 고려하여 결정하여야 한다. 또한 현재 전세계 외해 양식시설물 개발은 초기단계이므로 시판중인 제품 모두를 신뢰할 수 없으며 단지 제한된 몇몇 제품들만이 성능이 입증된 단계에 도달되어있다. 반잠수식과 잠수식은 부상식보다 파랑하중을 적게 받아 단순한 형식임에도 안정성이 우수하여 성공가능성이 충분하지만 필요시 양식시설물을 상하로 승강하는 장치가 필요하고 이 장치에 대한 안정성이 확보되어야 한다. 현 시점에서 가격이 저렴하고 안정성이 어느정도 확보된 Dunlop/Bridgestone사의 rubber hose cage 또는 plastic circle cage(PolarCirkel)들을 연어양식을 위한 양식시설물로 많이 사용하고 있지만, 앞으로의 외해 양식시설물은 하중에 잘 견디는 유연한 재질 사용과 함께 파랑하중으로부터 안정성이 확보된 반잠수식과 잠수식이 대세를 이룰 것으로 예측된다. 우리나라도 이에 대한 대비를 철저히 해야 할 것이다.

3. 연구수행 내용 및 결과

① 설계과 선정을 위한 파랑변형 수치모델 개발

개발한 수치모형은 파랑변형 모델로서 외해의 파랑조건(파고, 주기)으로부터 연안역의 파고 및 파향 분포를 계산할 수 있다. 모델의 기본방정식은 완경사 방정식(mild slope equation)으로 수심과 흐름에 의한 굴절(refraction) 및 천수(shoaling) 효과를 고려할 수 있다. 또한 계산영역내에 방파제와 같은 연안 시설물이 위치할 때 반사율/투과율을 부가하여 구조물의 영향을 부분적으로 고려할 수 있다. 계산예로 제주도 북쪽 해안에 적용하여 파고 분포도와 파향 벡터도를 구하였다. 앞으로 제주도 연안 설계과(파고, 주기) 추정시 활용될 것이다.

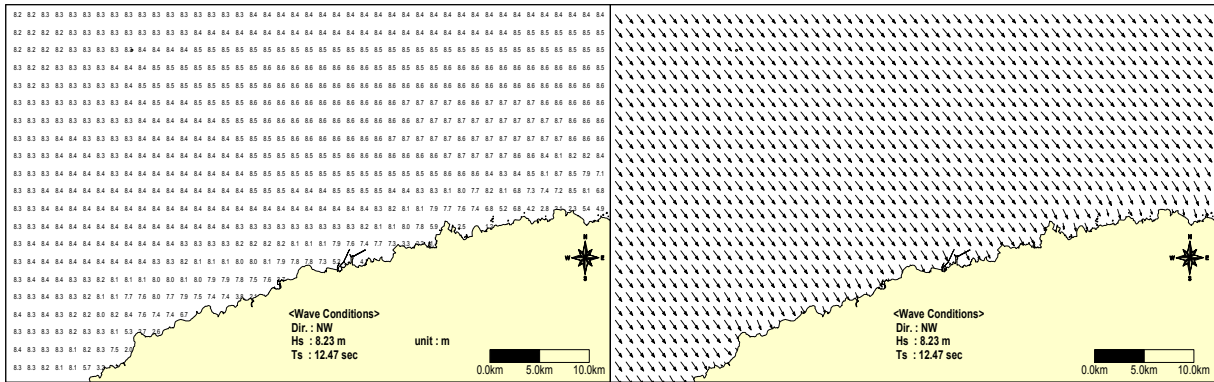


Fig. 1. NW파향(유의파고:8.23m,유의파주기:12.47 sec.) 수치계산 결과(제주 북쪽해안 파고분포도)

Fig. 2. NW파향(유의파고:8.23m,유의파주기:12.47 sec.) 수치계산 결과(제주 북쪽해안 파랑벡터도)

② 양식시설물 운동응답 해석 및 계류시스템 설계분야

이 분야에서는 잠수식 양식시설물(Sea Station: 직경=35.4m, 높이=23.9m)을 대상으로 흐름과 파랑중 이 양식시설물의 6자유도 운동특성(surge,sway,heave,roll,pitch,yaw)과 계류로프에 작용하는 동적 장력을 수치계산 하였다. 해석방법은 선박과 해양플랜트의 운동성능 평가에서 널리 사용되고 있는 선형포텐셜(linear potential theory)에 이론에 근거한 시간영역에서의 경계요소법(Boundary Element Method)을 사용하였으며 계류로프는 4점 계류로 현수선(Catenary Line)해석법을 사용하였다. 그물망의 거동을 무시하였고, 일정한 공극율을 갖는 그물망을 완전히 막힌 면으로 가정하여 해석하였다.

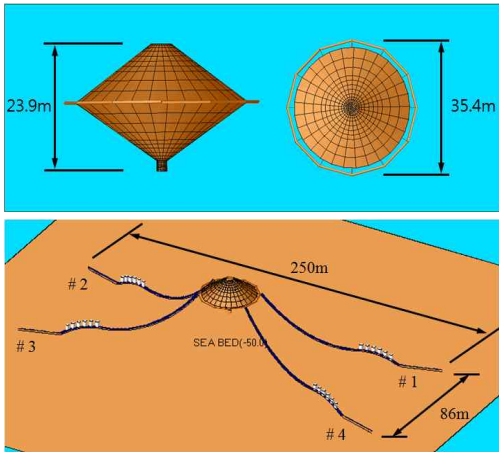


Fig. 3. Definition sketch of a submerged aquacultural cage system moored by 4 point ropes.

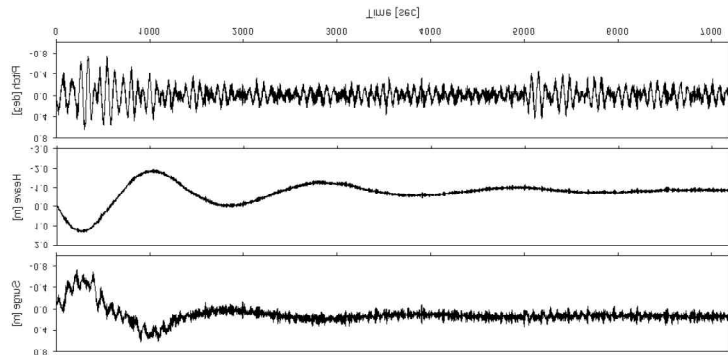
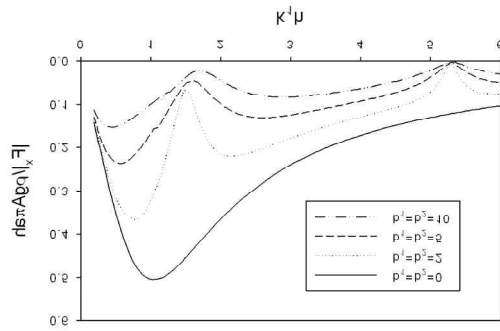
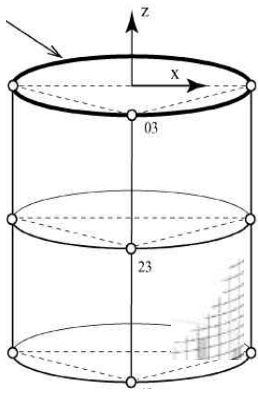


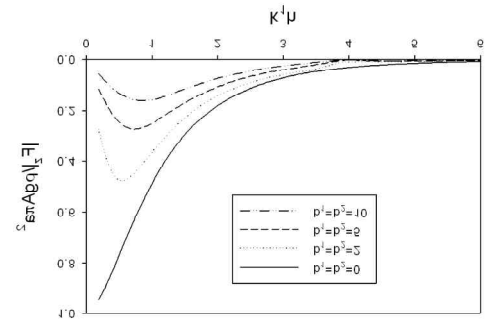
Fig. 4. Time history of the motion responses of a submerged aquacultural cage under the condition of co-existing flow and waves for $U=3knot, H_s=2m, T_p=6sec, \beta=0^\circ$.

③ 투과성 그물망에 작용하는 파랑하중 해석

이 분야에서는 일정한 공극율을 갖는 투과성 그물망으로 이루어진 원통형 양식시설물에 작용하는 파랑하중을 고유함수전개법(Eigenfunction Expansion Method)을 사용하여 해석하였다. 그물망에서의 경계조건식으로 그물망을 통과하는 속도값은 그물망 전후의 압력차에 선형적으로 비례한다는 Darcy의 법칙을 적용하였다. 또한 수직 그물망의 거동특성을 살펴보기 위하여 유탄성이론을 도입하여 파랑중 유연한 그물망의 동적거동과 파랑하중을 살펴보았다. 계산에 사용한 그물망은 일정한 잠긴깊이를 가지고 수직으로 설치되어 있으며, 상단 끝은 수면에 고정되어 있고 하단 끝은 추에 연결되어 있다.

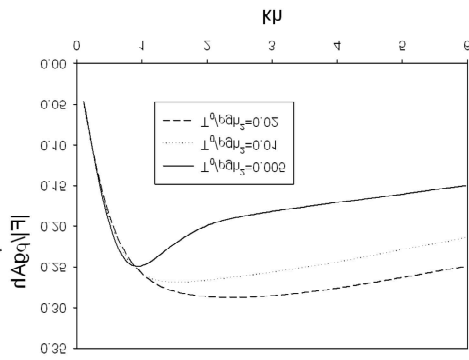
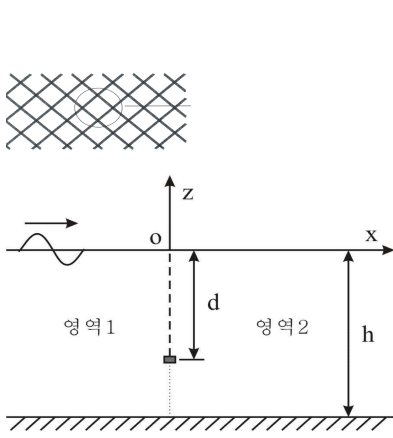


(a) horizontal force

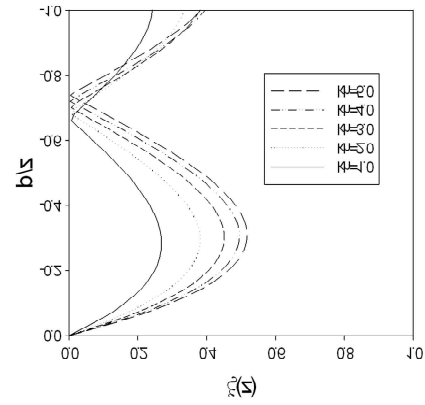


(b) vertical force

Fig. 5. Non-dimensional horizontal and vertical wave forces on an aquaculture fish cage as function of porous parameter (b_1, b_2) and $k_1 h$ for $a/h = 1.0, d/h = 0.5$.



(c) wave forces



(c) $T_0 / \rho g h^2 = 0.02$

Fig. 6. Wave forces and dynamic responses ($|\xi(z)|$) of net sheet for $d/h = 0.5, b = 10, m_s = 0.5 \text{ kg/m}^2$.

④ 흐름중 그물망의 하중 및 거동 해석

양식시설물의 그물망(측면,바닥)을 여러개의 그물 요소(element)로 모델링하여 유한요소법에 근거하여 환경하중에 대한 그물 요소의 항력과 양력 그리고 거동을 계산하였다. 각 요소의 결과를 합하여 그물망 전체의 하중 및 응답을 계산하였다. 본 연구에서 상용코드인 OrcaFlex을 사용하였고, 수치계산 결과는 (Lader & Enerhaug, 2005)의 실험결과와 비교하였다.

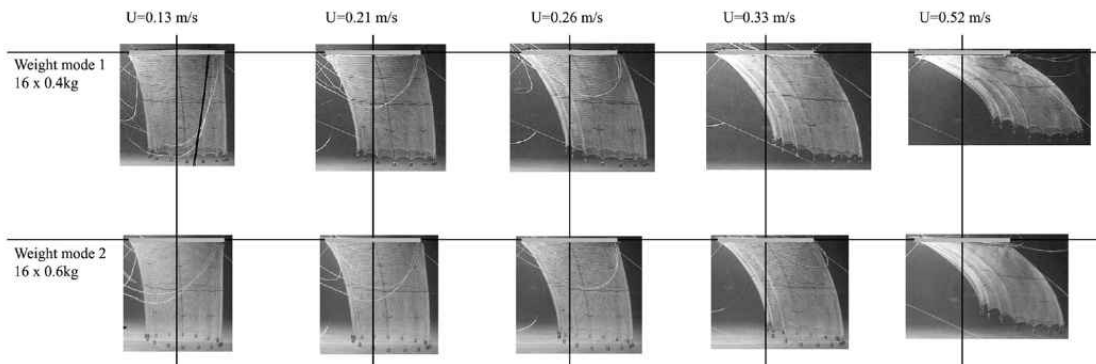


Fig. 7. Deformation of the net cylinder for different weight configurations and current velocities

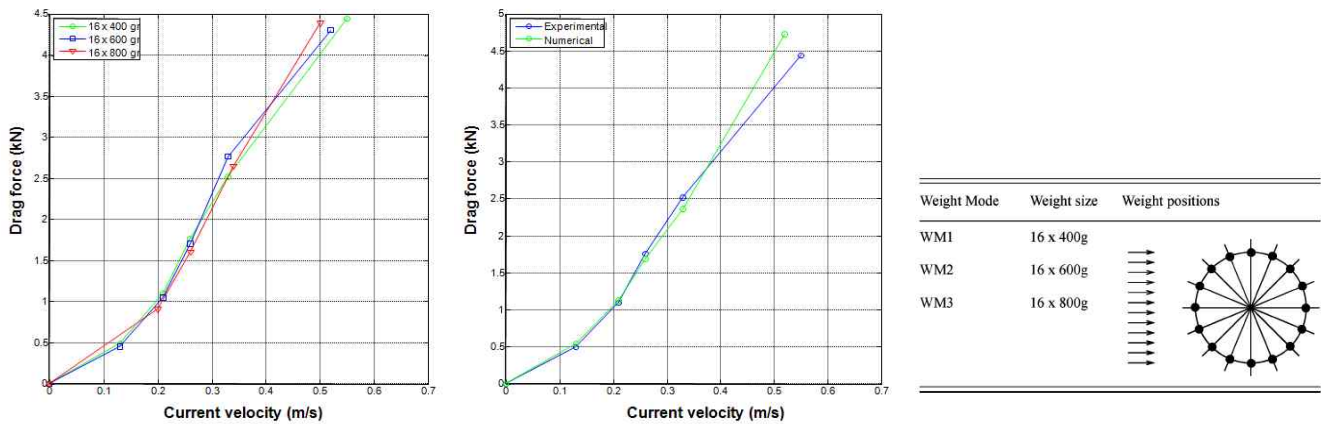


Fig. 8. Drag force on the net structure as a function of current velocity

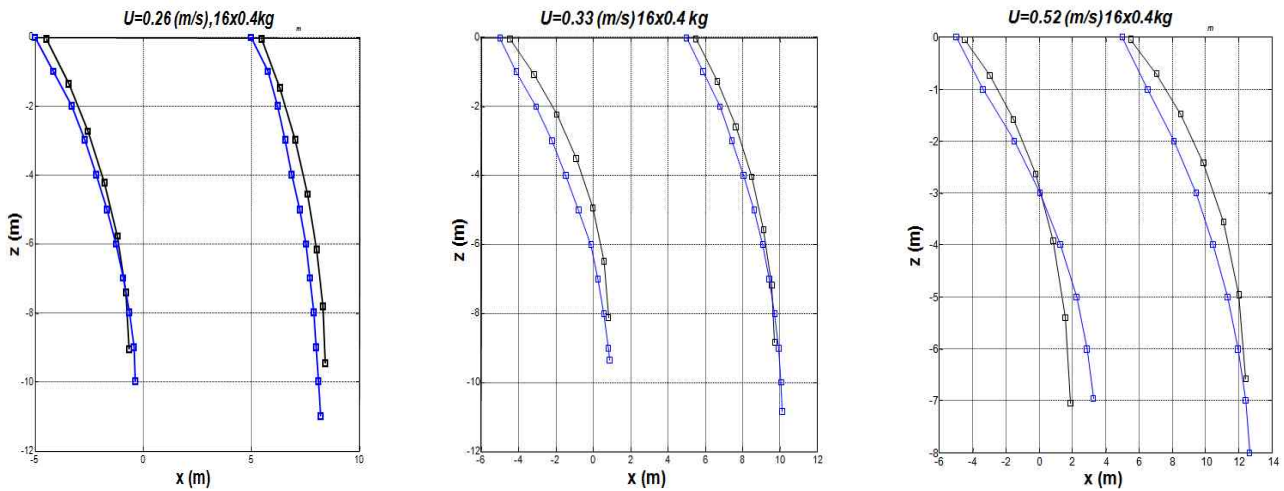


Fig. 9. Deformation of the net cylinder for different current velocities (blue line: numerical results, black line: experimental results)

4. 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

분야	달성도(%)	기여도
기존의 양식시설물 장·단점 분석 및 특허조사	100	외국 문헌들을 조사하여 외국 제품의 장·단점 분석 완료, 국내 시장에 들어와 있는 외국제품의 특허조사, 앞으로 새로운 기술 개발에 기여할 것임
파랑변형 수치모델을 이용한 설계파(파고, 주기) 추정기법 개발	100	개발된 설계파 산정 프로그램을 이용하여 제주도 전 해역 파랑자료 습득 가능함. 양식시설물 설계파로 활용
투과성 그물망에 작용하는 파랑하중	100	파랑중 투과성 그물망 하중 및 거동 해석 수치프로그램 개발하여 국내 학술지(한국해양공학회지, 한국해양공학회지)에 발표
양식시설물에 작용하는 유체 항력 거동 계산	100	현재 미국 Texas A&M 대학과 일부분 공동연구, 앞으로 공동과제를 준비하여 양식시설물 선진국인 미국의 기술 도입 및 습득
부유식 양식시설물 파랑하중 및 운동응답 해석	100	ANSYS AQWA 코드를 이용한 계류된 양식시설물의 파랑하중, 운동응답 해석에 대한 주파수 및 시간 영역 해석 가능

5. 연구결과의 활용계획

① 추가연구의 필요성

현재 양식시설물(부상식,반잠수식,잠수식) 설계에 필요한 요소기술 개발은 2년간의 연구를 통하여 어느 정도 성과를 거두었다고 볼 수 있다. 그러나 개발된 요소기술들의 통합작업 그리고 요소기술들을 이용한 실제 설계 작업은 짧은 연구기간으로 인하여 충분치 못하였다. 따라서 관련기업과 함께 상용화 연구사업이 추가로 필요하며 현재 제주도 양식시설물 제작 업체인 ㈜엔엔티와 협의 중에 있다. 또한 Texas A&M대학교 스마트 양식 시설물 개발 관련 국제 공동연구를 추진중에 있다.

② 타 연구에의 응용

양식시설물 그물망과 같이 유연한 투과성 구조물은 불투과성 강체구조물과 달리 해석이 복잡하고 관련 응용분야가 다양하여 현재 해양공학분야에서 가장 활발한 연구가 진행중인 영역이다. 본 연구사업을 통하여 개발된 기술들은 다른 분야로 활용이 가능하며 현재 이와 관련된 연구논문들을 준비하고 있다.

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

- [1] J. V. Aarsnes, G. Løland, and H. Rudi, (1990). Current forces on cage, nett deflection. in Engineering for Offshore Fish Farming. Glasgow, U.K.:Thomas Telford, pp. 137-152.
- [2] A. Fredheim and O. M. Faltinsen,(2003). Hydroelastic analysis of a fishing net in steady inflow conditions," in 3rd Int. Conf. Hydroelasticity in Marine Technol., Oxford, U.K.,.
- [3] D. W. Fredriksson, M. R. Swift, J. D. Irish, I. Tsukrov, and B. Celikkol,(2003). Fish cage and mooring system dynamics using physical and numerical models with field measurements, Aquacultural Eng., vol. 27, no. 2, pp.117-146.
- [4] A. L. Fridman and P. J. G. Carrothers,(1986). Calculations for Fishing Gear Designs. Farnham: Published by arrangement with the Food and Agriculture Organization of the United Nations by Fishing News Books.
- [5] P. Lader, B. Enerhaug, A. Fredheim, and J. R. Krokstad,(2003). Modeling of 3D net structures exposed to waves and current," in 3rd Int. Conf. Hydroelasticity in Marine Technol., Oxford, U.K.
- [6] P. Lader and A. Fredheim,(2001). Modeling of net structures exposed to 3D waves and current, in Open Ocean Aquaculture IV, St. Andrews, Canada.
- [7] P. Lader, A. Fredheim, and E. Lien,(2001). Dynamic behavior of 3D nets exposed to waves and current, in 20th Int. Conf. Offshore Mechan. Arctic Eng., Rio de Janeiro, Brazil.
- [8] F. Le Bris and D. Marichal,(1998). Numerical and experimental study of submerged supply nets: Applications to fish farms, J. Marine Science Technol., vol. 3, pp. 161-170.
- [9] G. Løland,(1991). Current forces on and flow through fish farms, Dr.ing., Division of Marine Hydrodynamics Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway.
- [10] I. Tsukrov, O. Eroshkin, D. Fredriksson, M. R. Swift, and B. Celikkol,(2003). Finite element modeling of net panels using a consistent net element, Ocean Eng., vol. 30, no. 2, pp. 251-270.

III. 연구성과

사업명	지역대학우수과학자지원사업	연구책임자	조일형	주관기관	제주대학교
과제번호	2010-0003875	과제명	제주해역에 적합한 외해 양식시설물 설계기술 개발		

과학기술/학술적 연구성과(단위 : 건)													
전문학술지 논문게재				초청 강연 실적	학술대회 논문발표		지식재산권				수상 실적	출판실적	
국내논문		국외논문			국내	국제	출원		등록			저역서	보고서
SCI	비SCI	SCI	비SCI				국내	국외	국내	국외			
0	3	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0

전문학술지 논문게재 성과정보											
과제번호	게재연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권(호)	학술지구분	sci여부	impact Factor	국제공동 연구논문	기여도
2010-0003875	201102	원통형 양식시설물에 작용하는 파랑하중	조일형	직접입력	한국해양학회논문집	23권(1호)	국내	SCI미등재		아니오	100
2010-0003875	201102	감쇠판이 부착된 원기둥의 동유체력 특성	조일형	직접입력	한국해양공학회지	25권(1호)	국내	SCI미등재		아니오	100
2010-0003875	201204	파랑중 유연한 그물망의 응답특성 해석	조일형[제주대학교]	KCI	한국해양학회논문집	24(2)	국내	SCI미등재		아니오	100

학술대회 논문발표 성과정보						
과제번호	발표연월	학술대회명	저자	논문제목	학술대회구분	개최국
2010-0003875	201106	International Society of Offshore and Polar Engineers	H.J.Koh, I.H.Cho	Motion Response of a Circular Cylinder with a Heave Plate in Waves	국제학술대회	미국
2010-0003875	201006	2010년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회	고혁준, 조일형	인장계류식 자동 급이 장치의 파랑중 운동성능해석	국내학술대회	대한민국
2010-0003875	201011	2010 한국풍력에너지학회 추계학술대회	고혁준, 조일형	부유식 해상풍력발전시스템 운동 저감장치에 관한 연구	국내학술대회	대한민국
2010-0003875	201102	2011 녹색기술 포럼	조일형	제주시 탑동 호안 월파 피해 모형실험	국내학술대회	대한민국