

제주 연안 환경을 고려한 전복 양식 시스템 개발

김성근 · 고유봉*

제주대학교 해양연구소, *제주대학교 해양학과

Development of Aquaculture System considered to Cheju Coastal Environment

Seoung-Gun KIM and You Bong GO*

Marine Research Institute, Cheju National University, Cheju-do 695-810, Korea

**Department of oceanography, Cheju National University, Cheju-do 690-756, Korea*

A concept system is an abalone-bleeding farm in underwater. The design of system was performed based on the basic dimension obtained from maintenance, environment, etc and then the basic dimension was determined to length=10m, breath=10m and draft=1m.

In this paper, an exciting force of environment of the system was made an estimate by a general equation and a simplified experimental equation. The estimation of fluid dynamic forces of underwater cage system were used the three dimensional source distribution method. The experiment model(1/4model) was conceptually designed as biological characteristics, experiences, etc. The experiment in real sea was conducted for the 1/4 model. The object of experiment was to hold the underwater system by a typhoon in summer and a north-west wind in winter around Cheju Island, Korea.

On the basis of this, it was used to the mooring method combined with the tension leg platform type and the conventional Type.

Key words : abalone-bleeding farm, exciting force, three dimensional source distribution method, tension leg platform

서 언

연구의 필요성

제주도의 해안은 굴입식이 아닌 평탄하고 굴곡이 적은 것이 특징으로 이곳을 중심으로 한 제1종 공동어장은 오랜 옛날부터 선조들의 삶의 터전이었고 오늘날에도 제주도 수산업 종사자들의 68%를 차지하는 해녀들의 생명 산업의 장소이다. 최근 제주도 연안의 갯녹음(백색화) 현상으로 생

태계가 바뀌어 가고 있어서 거기에 서식하는 생물들에게 크게 영향을 미치고 있지만, 생업의 수단을 포기할 수 없어서 해녀들은 계속해서 해조류와 패류를 채포하지 않을 수 없는 입장이다.

한편, 제주도에 양식산업이 본격적으로 시작된 것이 1980년대 말부터이고, 제주도의 지리적 여건상 대부분이 육상수조식에 의존하고 있는 실정이다. 육상시설이 점차 늘어남에 따라 현지 어민과의 마찰, 경관훼손 등으로 분쟁이 끊임없이 발생하고 있다. 이러한 상황에서 육상시설에 의한 양식업의 증흥에는 한계가 있다고 판단된다.

해결의 실마리는 제 1종 공동어장을 복원시키 나가고 해녀를 중심으로 한 어촌계의 소득원 개발 차원에서 찾아야 할 것이다. 그래서 일단 제주도 어촌계의 고소득원인 전복을 중심으로 한 패류를 자연의 해수 중에서 양식하는 방법을 창안함으로써 기술 이전을 통한 안정적인 수산인으로서의 생활이 가능하도록 할 필요가 있다.

따라서 본 연구의 최종 목표는 연안 해수 중에서 수심 15m를 전후한 2곳으로 나눠 수중에 계류된 구조물을 설치, 먹이 투여 등 필요시에는 수면까지 부상시키고 평상시에는 수중으로 침하시켜 자연 해수 중에서 성장 발육하도록 하는 첨단 해수 부침식 패류 양식 기법을 개발하려는 것이다.

이것이 성공할 경우 제주도 어촌계의 주 소득원인 전복, 소라 등의 패류 양식을 직접 어민이 하도록 함으로써 노후화된 제1종 공동어장 복원에 필요한 휴식년제 도입을 가능케 하고 적은 노력으로 고부가가치를 창출케 하며 주민과의 마찰, 자연경관 훼손의 시비에서도 멀어지게 된다. 더 나아가서는 관광객으로 하여금 직접 양식의 체험을 맛 볼 수 있게 하는 체험어장 역할을 함으로써 국민을 친 해양적으로 유도하고 안정적인 치패 생산과 성장 발육을 통하여 해양목장화 사업 추진에도 일익을 담당하게 되는 역할을 하게 될 것이다.

본 논문의 내용

노르웨이 등 북유럽을 비롯한 일본, 이스라엘, 미국 등의 양식시스템은 해당지역의 해양환경을 고려한 독자적인 시스템을 개발하여 생산성을 향상시키는 많은 사례를 접할 수 있다. 그 예로 노르웨이 MARINTEK에서 개발한 TLC (Tension Leg Cage) 시스템(Lien,1995), 만을 이용한 일본의 부침식 전복양식 시스템(岡本 等, 1994), 이스라엘의 반잠수식 가두리 시스템, 개념을 정립중인 한국형 이동식 가두리 양식시스템(김 등, 1995) 등을 들 수 있다.

본 논문에서는 제주도의 여름철 태풍과 겨울철 북서풍에 견디고, 패류의 생태를 고려한 새로운 시스템을 설계하고자 한다. 패류는 적정수온(15° C ~ 23° C)과 해수유동이 용이할 경우 2, 3일에 한

번 정도의 먹이공급과 상태에 따라 1주일에 한번 정도의 용기 청소가 생물 사육의 대부분을 차지한다. 관리 측면을 고려하여 5m x 5m의 사각의 크기에 24개의 Sector를 만들고 각 Sector를 독립적으로 관리할 수 있도록 설계한다. 1개의 Sector (0.6m x 0.8m)에 2cm 치패 약 600미를 사육하도록 설계한다. 설치 해역은 수심 15m를 전후하여 수심 10m에서 사육하도록 시스템을 설계한다.

본 논문에서는 위의 시스템에 대한 정역학적인 해석, 동역학적인 해석, Catenary 이론에 의한 계류라인의 해석 및 설계 그리고 Weight 형 앵커에 대하여 고찰한다. 이를 바탕으로 실물크기의 시스템에 대한 개념설계도를 보이고 약 1/4크기의 모델에 대한 제작 과정 및 실험 예정 내용을 소개한다.

추후의 장기적인 연구 계획으로는 수중작업이 가능한 ROV(Remotely Operated Vehicle), 작업 전용선박의 개발 등을 들 수 있다.

부유식 해중 양식 시스템

해상 가두리의 양식은 육상에 비하여 성장 속도가 빠른 것으로 알려져 있으나, 제주 연안은 태풍 및 겨울철 북서풍의 영향으로 일부 항만 내를 제외하고는 가두리가 극미한 실정이며, 이에 대한 연구 또한 전무한 실정이다. 한편, 남해안에 전복 가두리가 있으나, 유류 유출사고, 적조 등 환경오염의 문제점을 갖고 있다.

외국의 사례를 보면 북대서양연안의 극심한 해양환경(파고 20m)을 고려한 TLC 시스템(Fig. 1)을 노르웨이 MARINTEK에서 개발하였으며, 일본의 경우는 수심이 깊고 만이 많은 해역을 고려한 부침식 전복 양식시스템(Fig. 2)을 개발하였고 [2]. 이스라엘에서는 반잠수식 가두리 시스템(Fig. 3)을 개발하였다[Marine Industries & Investments Ltd. 1995]. 한편, 국내에서도 한국형 이동식 가두리 양식 시스템(Fig. 4)에 관한 연구가 수행 중에 있다.

본 논문에서는 제주연안환경을 고려하여(오염의 위험은 작은 반면에 여름철 태풍과 겨울철 북서풍의 영향), 이용하지 못하고 있는 광활한 연안 해역을 이용하기 위한 적정 시스템의 개념도(Fig.

5)를 작성하였다. 이 시스템은 아래와 같은 설계 지침에 따라 개념설계되었다.

- 구조물내 해수 유동의 용이성
- 유류 유출 등 긴급시 이동성
- 생물 성장과 작업의 효율성

개념설계

시스템의 개념설계 목적①은 제주연안의 환경

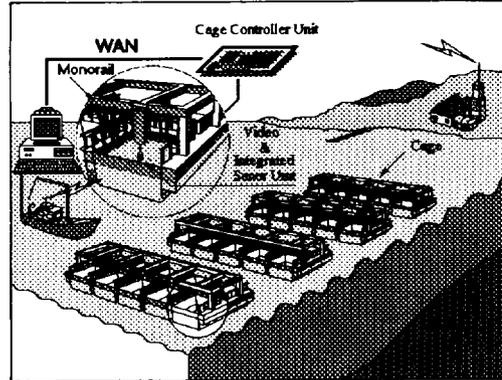


Fig. 4. Korea Type Movable Cage System



Fig. 1. Tension Leg Cage System in Norway

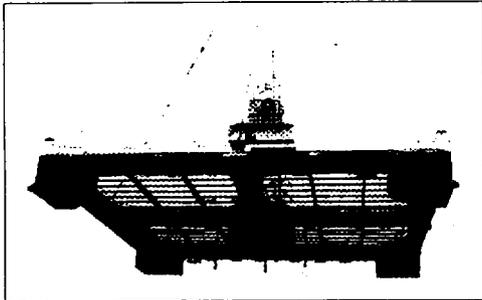


Fig. 2. MARINE-AYA No. 1 System in Japan

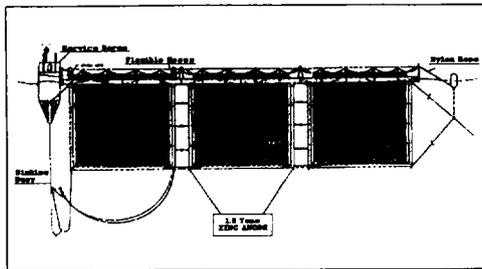


Fig. 3. Sub-Marine Cage System in Israel

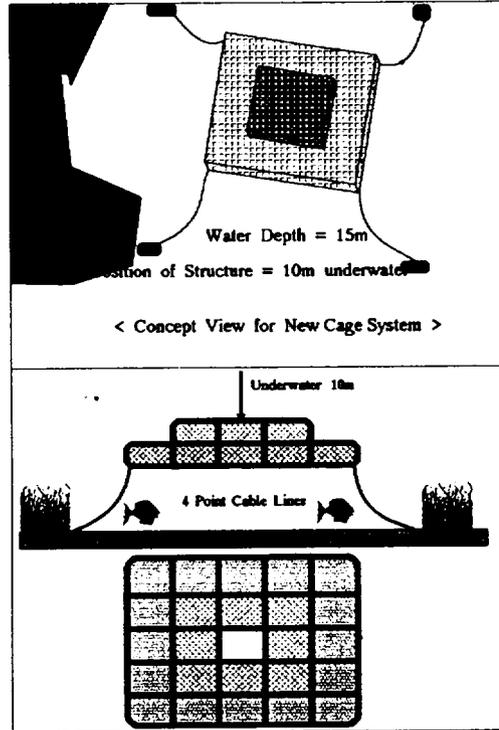


Fig. 5. Concept View for Underwater Cage System

을 고려하여 해양에서의 생산성이 높은 패류 양식시설물을 개발하는 것이며, 세부적으로는 수심 15m를 전후한 어촌계 보급형과 기업형 시스템의 개발에 두고 있다. 이를 위한 설계의 개념②는 평상시의 시설물의 위치는 수심 10m로 하고, 실물

크기인 경우 약 5m x 5m의 구조물에 24개의 Sector(2개의 감귤컨테이너)에 2cm 치패 15000마리 정도(모형인 경우 6개의 감귤컨테이너에 1800마리 정도)사육하도록 한다. 보급형의 먹이공급은

잠수부(해너)들이 직접 투여하도록 하며, 기업형인 경우에는 각각의 Sector를 부침하는 방법을 개발한다. 또한, 시설물의 재질은 PE를 기본으로 실험을 통하여 경제적으로 최적인 것을 선정한다.

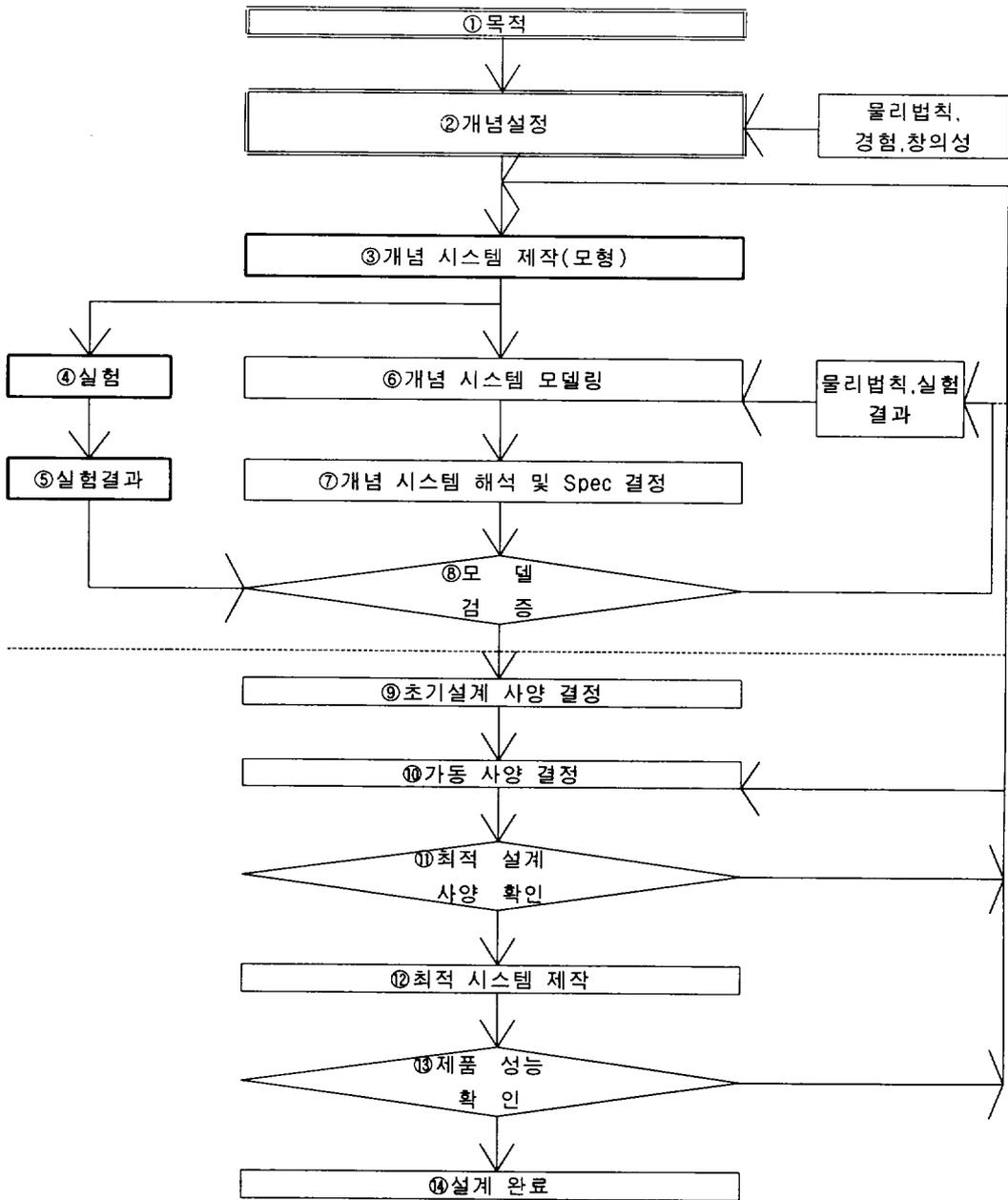


Fig. 6. Flow Chart for Design of System

한편, 시스템의 유지에 가장 중요한 재료 방법은 일반적인 Catenary 이론에 근거하며, 장기적으로는 T.L.C (Tension Leg Cage)에 관한 연구와 시스템 작업용 ROV (Remotely Operated Vehicle)에 관한 연구를 수행한다. Fig. 5에서는 시스템의 개념을 위한 전체 흐름도를 나타내고 있으며, 본문에서는 이를 ①, ②, ③, ④, ⑤에 대한 연구 결과를 발표하고 있다.

실험용 모델의 제작

1.7m x 1.5m 크기의 구조물에 6개의 가정용 컨테이너(0.6m x 0.4m x 0.35m)가 놓일 수 있도록 설계되었다. 구조물의 재질은 PE를 사용하였으며, 연결부위는 용접 방법을 쓰지 않고 연결 소켓을 이용하여 재질의 유연성을 보장하였다. 컨테이너와 컨테이너간의 간격을 약 5cm로 유지할 수 있도록 제작되었으며 컨테이너의 상단에 땅을 덮고 자재의 이탈을 방지하기 위한 고리를 설치하였다.

Table 1. Basic Dimension for Underwater Cage System

항목	실물크기	모델	비고
길이(L)	10 m	1.7 m	
폭(B)	10 m	1.5 m	
높이(D)	1 m	0.35 m	
기타		구조물 재질 : PE 재료 재질 : 300PE 앵커 : 페타이어5개 x 4지점	

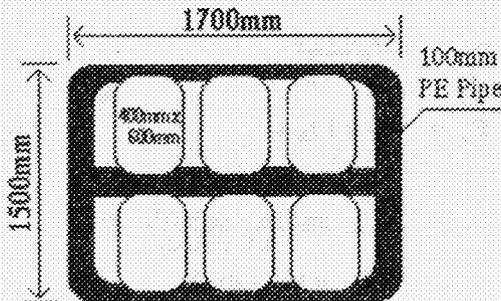


Fig. 7. Concept Draw of Underwater Cage Model System

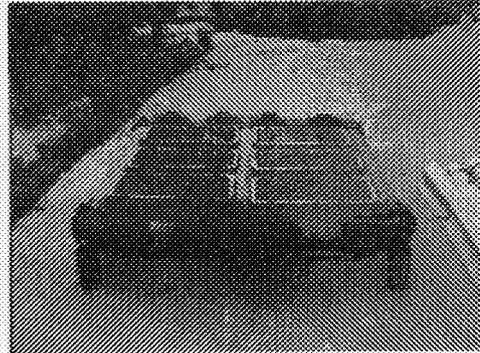


Photo. 1. Photograph for Underwater Cage Model System

한편, 재료라인은 300 폴리에스터 로프 2개와 스티리아어 로프 2개 각 5m를 4개의 꼭지점에 연결하였고, 앵커는 1지점당 5개의 페타이어 앵커를 병렬 연결하여 바닥 마찰력을 증가하도록 제작하였다. 한편, 제작된 구조물에 대하여 기본사항 (Table 1), 개념도(Fig. 7) 그리고 사진(Photo. 1)으로 나타내었다.

부유식 해중 양식시스템에 작용하는 유체력 계산

본 절에서는 해중시스템에 작용하는 힘에 대하여 정리하고, 모형의 경우에 대한 계산결과를 보이고자 한다. 이때의 계산조건은 Table 2에 나타내었다.

해중에 놓여 있는 구조물은 동역학적인 외력(파랑, 조력, 구조물에 작용하는 과압감제력 등)에 관계없이 정수압, 중력, 부력 등에 영향을 받는다. 이들에 대하여 고찰하여 보면 다음과 같다.

Table 2. Calculated Condition for System

항목	실물크기	모델	비고
파고(H)	2m, 5m, 8m	파동	
파장(L)	50 m	파동	
수심(h)	15 m	8 m	
구조물위치(z)	수면하 10 m	5 m	
조류속도(v)	1.5 m/sec	파동	
기타			

정수압은 해수 중에서 수심에 따른 변화량을 일반적인 식(1)로 나타낼 수 있으며,

$$P_s = \rho g h \quad (1)$$

여기서 $\rho g = 1030 \text{ kgf/m}^3$
 h 는 정수면하 깊이

천해역에서의 미소진폭파 이론에 의한 수면하 압력은 통상 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$P_m = \rho g \left[\frac{H}{2} \frac{\cosh 2\pi(h+z)/\lambda}{\cosh 2\pi h/\lambda} \cdot \sin 2\pi(x-t)/\lambda - z \right] \quad (2)$$

여기서
 $\rho g = 1030 \text{ kgf/m}^3$
 H 는 파고
 λ 는 파장
 h 는 수심
 x, z 는 수면하 물체의 수평, 수직 위치

이로부터 수심 8m에서 수면하 5m에 위치한 구조물에 작용하는 압력에 대하여 Fig. 8에 나타내었다.

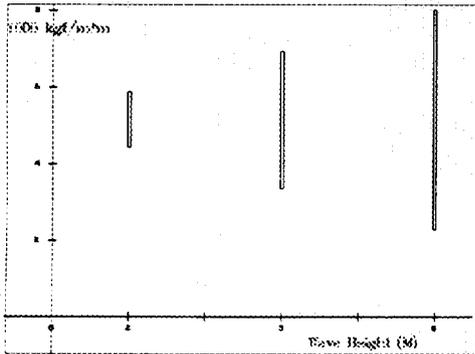


Fig. 8. Pressure Variation for Wave Height at Underwater Position

해중시설물의 증량은 구조물의 재질을 비롯한 컨테이너, 셸터, 치패 등을 고려하면 모델인 경우 약 55kgf이며, 케이블 라인 및 앵커의 특성은 Table 3에 나타내었다.

한편, 구조물 부력 총부력은 약 80kgf이며, 공기 중에서의 구조물의 증량은 55kgf이다. 해양구조물에 작용하는 힘으로는 적재하중, 풍하중, 파력, 조력, 부력, 지진하중, 빙하중, 적설하중, 지반반력 토압, 기타로 구분할 수 있으며, 본 논문에서는 설계하고자 하는 제주연안의 해중시설물은 겨울철 북서풍과 여름철 태풍에 가장 중요한 요소라고 판단되는 풍하중, 파력, 유체력, 부력, 지반반력 토압을 생각할 수 있으나, 해중 부유구조물이므로 풍하중과 지반반력 토압은 무시할 수 있다.

파력, 조력 그리고 부력을 고려하여 구조물에 작용하는 총수평력과 총수직력은 다음과 같은 경험식으로 부터 얻을 수 있다.

Table 3. Characteristics of Cable and Anker

항목	실물크기	모델	비고
길이 (s)	해면 ? m	8.05 m	계산 결과
	수중 ? m	5.0 m	
단위중량(w)	0.5 kgf/m	0.125 kgf/m	수시 교체
직경	0.03 m	0.015 m	
조류속도(v)	1.5 m/sec	좌동	
기타			

파랑에 의하여 해면의 구조물에 작용하는 단위 길이당 수평파력과 수직파력은 伊藤[7]이 산란파 성분을 무시하는 방법으로 엄밀해와 큰 오차가 없는 식(3)과 식(4)을 제시하고 있으며, 추후에 실험결과와 비교할 예정이다.

파력에 의하여 구조물이 받는 힘은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다(近藤·竹田,1983).

$$P_H = \frac{\rho g d f_H a}{\sqrt{1+y_B^2}} \quad (3)$$

$$P_u = 2 \rho g l f_B a \quad (4)$$

여기서

$$f_H = \frac{\sinh kh - \sinh k(h-d)}{kd \cosh kh}$$

$$y_B = \frac{g k(h-d) f_B^2}{(2\pi/T)^2 n}$$

$$f_B = \frac{\sinh k(h-d)}{k(h-d) \cosh kh}$$

d 는 홀수
a 는 진폭
l 은 구조물의 폭
T 는 파의 주기
n 은 균속도 계수

한편, 조류에 의하여 구조물이 받는 힘은 유속의 2승에 비례하며, 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다(小林, 1986).

$$F_c = 0.5 \rho C_D v^2 S_1 \quad (5)$$

$$F_L = 0.5 \rho C_L v^2 S_2 \quad (6)$$

여기서
C_D 은 항력계수
C_L 은 양력계수
v 는 유속
S₁ 은 수평방향 단면적
S₂ 는 수직방향 단면적

식 (3),(4),(5),(6)으로부터 파고 변화에 따른 총수평력 성분의 힘과 총수직력 성분의 힘을 계산하여 결과를 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었다.

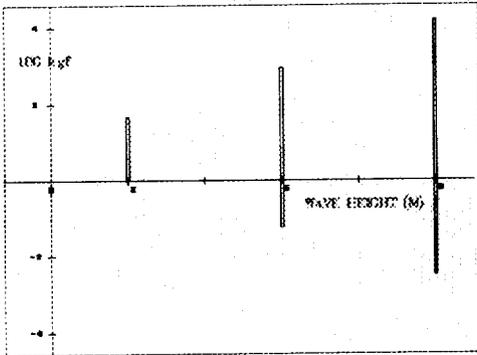


Fig. 9. Variation of Horizontal Force according to Wave Height at Sea Surface (2.5,8m)

해면에 작용하는 힘에 관계하여 수중의 부유 구조물에 작용하는 힘에 대해서는 실험과 병행하여 추후 연구할 계획이다. (한편, 수심 8m, 수면 하 5m에 있는 구조물에 작용하는 힘은 해면에 작용하는 힘의 약 3/8을 가정하여 계류라인의 계산치로 사용하였다.)

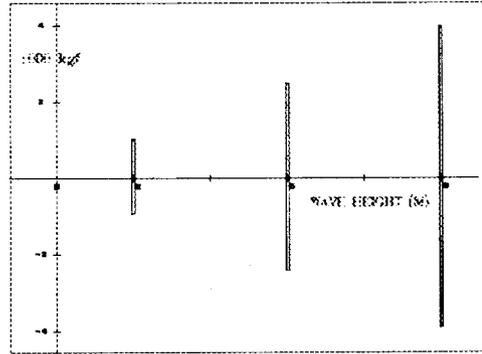


Fig. 10. Variation of Vertical Force according to Wave Height at Sea Surface(2.5,8m)

계류라인은 Catenary 이론을 이용하기 위하여 계류라인은 단위길이당 중량이 크며, 탄성력을 무시하고, 유속은 작다고 가정한다. 또한, 실험을 위한 예비 계산결과와 실험조건으로부터 계류라인의 단위중량, 수심, 수평력과 수직력을 알 경우 필요한 계류라인의 길이, 계류라인의 설치 형태 그리고 위치에 따른 인장력을 계산하였다.

계류라인의 길이(L), 인장력(T_c), x와 y의 위치 그리고 계류라인의 기울기는 계류라인의 단위중량, 해면에서의 수평력과 수직력, 수심으로부터 식(7), (8), (9), (10)에 의하여 구할 수 있다.

$$s = \frac{H}{W} \left\{ \frac{V}{H} - \sqrt{\left[1 + \left(\frac{V}{H} \right)^2 - \frac{DW}{H} \right]^2 - 1} \right\} \quad (7)$$

$$T_c = \sqrt{H^2 + \{V - W(L - s)\}^2} \quad (8)$$

$$x = \frac{H}{W} \left\{ \sinh^{-1} \left[\frac{V - WL - s}{H} \right] - \sinh^{-1} \left[\frac{V - WL}{H} \right] \right\} \quad (9)$$

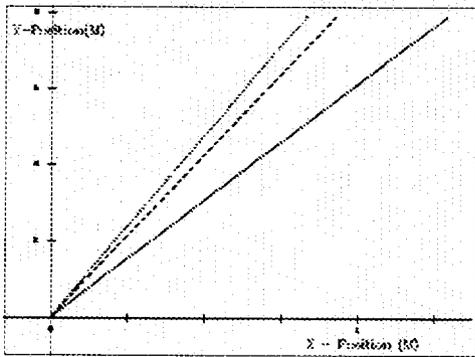
$$y = \frac{H}{W} \left\{ \sqrt{1 + \left\{ \frac{V - WL - s}{H} \right\}^2} - \sqrt{1 + \left\{ \frac{V - WL}{H} \right\}^2} \right\} \quad (10)$$

$$\tan \phi = \frac{H}{W} - \frac{W(L - s)}{H} \quad (11)$$

여기서

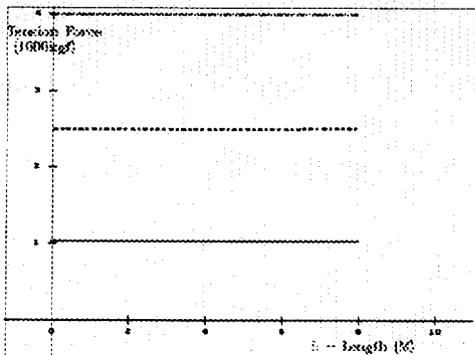
- H 는 수평력
- V 는 수직력
- D 는 수심
- W 는 단위중량
- L 은 계류라인의 길이
- s 는 수심에 따른 계류라인의 길이

식(7), (8), (9), (10) 그리고 (11)의 연산으로부터 파고 변화에 따라 해중에 놓여있는 구조물의 일반적인 위치 거동은 Fig. 11에 나타내었으며, 각 위치에서의 장력과 방향은 Fig. 12에 나타내었다.



— : H=2m, - - - : H=5m, : H=8m

Fig. 11. Cable Behaviour according to X-Y Position



— : H=2m, - - - : H=5m, : H=8m

Fig. 12. Tension Value according to Y Position

한편, 수심 8m에서 수중 5m에 놓여있는 구조

물에 미치는 힘은 해면의 약 3/8로 예상하여 실험 모델의 자료로 활용하였다.

모델실험 해역

제주대학교 해양연구소는 제주도의 가장 유명한 함덕해수욕장 근처에 위치하고 있으며 연구소 해안의 앞쪽에 여(Photo. 2)가 있으며, 모델 실험은 여 앞쪽 수심 8~10m 되는 위치에서 실험될 예정이다(Photo. 3).



Photo. 2 View of Experiment Position

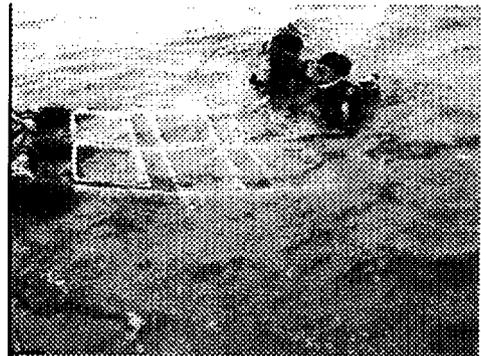


Photo. 3 Photograph of Setting Procedure of Model

고찰

본 논문은 실험을 위한 예비계산 결과와 실험의 조건 등을 고찰함으로써 실험 모델의 원만한

제주 연안 환경을 고려한 전복 양식 시스템 개발

운영 및 실제규모 실험에 많은 도움이 될 것으로 판단한다. 특히, 유체력 계산으로부터 태풍시 발생하는 해안가의 자연현상을 이해할 수 있었고, 비탄성 계류력의 계산을 통하여 전반적인 계류의 거동을 알 수 있었다.

참고문헌

Egil Lien, 1995. Cage System Developments. The 4th International Conference on Fisheries and Ocean Industrial Development (FOID '95).
岡本峰雄, 長濱 修, 高津尚之, 1994. 係留型鋼製海

洋構造物「マリンあや1號」の耐久性の追跡について, 일본조선학회 해양공학심포지엄, 12, pp. 110-118
Marine Industries & Investments Ltd, 1995. Sub-Marine cage system developed in Israel", FISH FARMING INTERNATIONAL, pp. 30-31.
김성근·조상래·김상봉·조규대, 1995. 한국형 이동식 가두리 양식 시스템의 개념설계, 대한조선학회 해양공학연구회, pp. 123-127
近藤淑郎·竹田英章, 1983. 小波構造物, 林北出版株式會社.
小林 浩, 1986. 海中施設の計劃と設計, 日刊工業新聞社.