

## 일본에 있어서 해상양식용 부침식 구조물의 개발시험

홍 성 완 · 岡本峰雄\*

제주도청 해양수산과 · \*일본해양과학기술센터

### Developing Experiments of Submersible Facility Type Marine Cultivation System in Japan

Seong-Wan Hong and Mineo Okamoto\*

*Dept. of Maritime and Fisheries, Cheju Provincial Government, Cheju-do 695-170, Korea*

*\*Japan Marine Science and Technology Center*

Submersible platform artificial sea floor, which can be deployed up to a depth of one hundred meters, was developed and placed at a depth of forty meters in the water of Funagoshi Bay in Iwate Prefecture in February 1996. The facility aims to use broad underwater space for mariculture and as an experimental marine station for oceanographic and biological monitoring study. The facility consists of an artificial sea floor(36×20m) that floats at 7m below the surface, a machinery hut that projects above the surface of the center of the structure and a balance weight beneath the structure. The facility was designed so it does not need periodical inspection and repair in main components for five years. The design was condition was 10m in significant wave. Measurement of movement and load to the mooring chain under rough sea conditions were examined using monitoring instruments. The facility can be operated easily and safely by fishers and there was no fundamental problem which needed further improvement. Cultivation of abalone in a rough sea area was prover to be possible. The artificial sea floor is expected to be one of the prospective technologies for utilizing vast coastal sea areas.

**Key words** : artificial sea floor, design condition, mooring, current variation

### 서 론

근래에 들어서면서 세계 각국의 수산정책은 잡는 어업에서 기르는 어업으로 전환되고 있다. 이러한 정책이 추진되면서 양식관계 사업이 확대되어, 해면양식어업이 급속하게 발전되고 있다. 지금까지 해면양식어업은 파랑 등 해상조건에 큰 영향을 받지 않는 연안해역에서 집약적으로 이루어지고 있다. 이러한 결과, 어장의 과밀화를 초래하였으며, 해저저질의 오염에 의한 어장황폐 및 적조 등의 발

생에 따른 양식 어패류의 병해, 치사가 증가하여 생산량이 감소하고 있는 실정이다.

한편, 해면양식어업의 이용장소를 수심으로부터 생각해 보면, 해면에서 약 10m까지의 범위에 한정되어 있다. 이러한 양식대상 수심이 제한되고 있는 것은 급이작업, 사육생물의 감시, 사육가두리의 청소 등을 손쉽게 하기 위해서였다.

위에서 논한 바와 같이 어장오염 및 이용장소 등의 제약에 의해 현재 이루어지고 있는 해면양식업은 한계에 달하고 있어, 방향전환이 모색되어야 한

다고 생각된다. 최근, 일본에서는 지금까지 이용되지 않았던 외해의 해중공간을 유효적으로 활용하기 위한 방편으로 해양구조물들을 개발하고 있다. 현재, 일본에서 개발되고 있는 해양구조물의 용도를 나열하면 다음과 같다.

- ① 회유성 어류를 집어하기 위한 부어초(本多·明瀬, 1982).
- ② 해양목장에 방류한 어류의 먹이를 자동적으로 급이하는 음향순치 장치(上城, 1984).
- ③ 해조육성용 인공해저(岡本, 1983).
- ④ 어패류 양식용 인공해저(洪, 1997).

본 보고에서 소개하고자 하는 해양구조물(이후, 인공해저라고 칭함)은 전북양식 사업을 진흥시키기 위한 일환으로 일본 해양과학기술센터, 이와데현 임업수산부, 가고시마대학 수산학부 및 큐슈대학 공학부가 공동으로 연구개발에 착수하게 되었다. 인공해저는 2년간의 설계제작 및 기초실험을 통하여, 1996년 2월에 岩手縣 船走成瀨 외해에 설치하였다.

여기서, 저자 등은 1995년부터 1997년까지 인공해저 시설을 이용한 양식관리 기술, 인공어초 기능 및 설계조건에 대한 기초실험을 수조 및 실험해역에서 실시하였다. 한편, 인공해저는 외해의 파랑을 받는 해역에 설치되어져 있기 때문에 황천시의 동요 및 계류삭에 걸리는 장력의 계측, 내구성 등을 정확하게 해석할 필요가 있다. 이러한 내용을 구체적으로 파악하기 위하여 인공해저를 이용한 몇가지의 실험 및 시험조사를 행하였다. 특히, 해양구조물의 설계상 중요한 공학적 사항으로서 ① 해양조건에 좌우되는 파랑, 흐름 및 부착생물량 ② 구조물에 작용하는 외력 ③ 구조물의 계류설계 ④ 구조물 하중에 의한 피로 및 해수에 의한 부식정도의 정량화 등을 들 수 있다. 본 보고는 주로 인공해저 개발의 배경 및 개요 그리고 설계조건에 대한 실험결과를 개략적으로 보고하고자 한다.

## 인공해저의 개발배경 및 개요

### 개발배경

일본 동북지역의 岩手縣은 리아스식 해안으로 해

저지형이 완만하지 않고 급격하게 깊어지는 특징이 있다. 따라서, 양식어장의 적지 및 패류자원의 성육에 적합한 암반의 면적이 적으며, 저질이 사니질이기 때문에 일반적으로 어장으로서의 가치가 낮다. 岩手縣에 있어서 전복은 연안어업 중에서 중요한 수산자원의 하나로써 증식사업에 힘을 기울이고 있다. 이러한 차원에서 岩手縣과 해양과학기술센터는 1994년도부터 지역사업의 일환으로 파랑영향을 받는 해역에 설치가능한 시설물의 개발을 목표로 외해형 부침식 인공해저가 제작되어(Fig. 1), 1996년 2월에 岩手縣 船走成瀨후의 수심 40m 해역에 설치하였다(Fig. 2). 개발된 부침식 인공해저는 해중공간을 양식에 활용하는 것을 주 목적으로 설계되어져 있다.

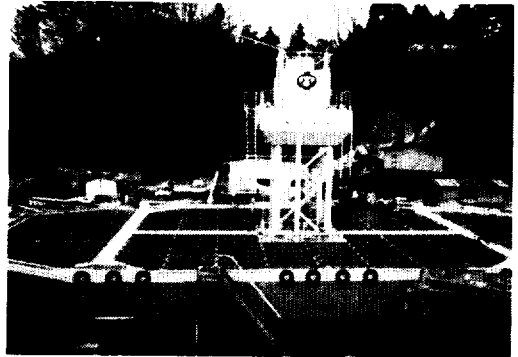


Fig. 1. Submersible artificial sea floor.

여기서, 인공해저 개발단계에 있어 다음과 같은 목표를 설정하였다.

- ① 황천에 견딜 수 있는 방안
  - ② 운용비용 절감
  - ③ 탑재중량이 클 것
  - ④ 여러 가지 생물사육이 가능할 것
  - ⑤ 검사 및 보수비용 절감
  - ⑥ 조작이 간단하여 어업자가 운용하기에 편리할 것
- 한편, 이러한 요구를 만족시키기 위하여 다음과 같은 아이디어가 검토되어 구체화 하였다.

- ① 시설은 강제용접 구조로써 전기방식을 함
- ② 인공해저 부분은 프레임 구조로 함
- ③ 시설의 주요부분은 통상 침하상태로 함

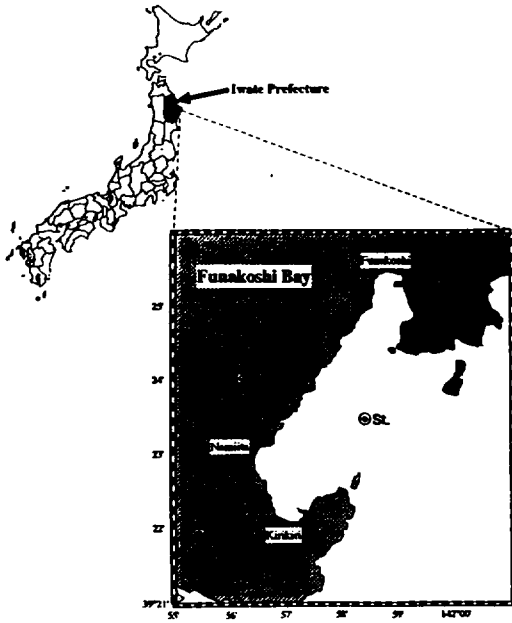


Fig. 2. Schematic view of Funakoshi Bay and observation point.

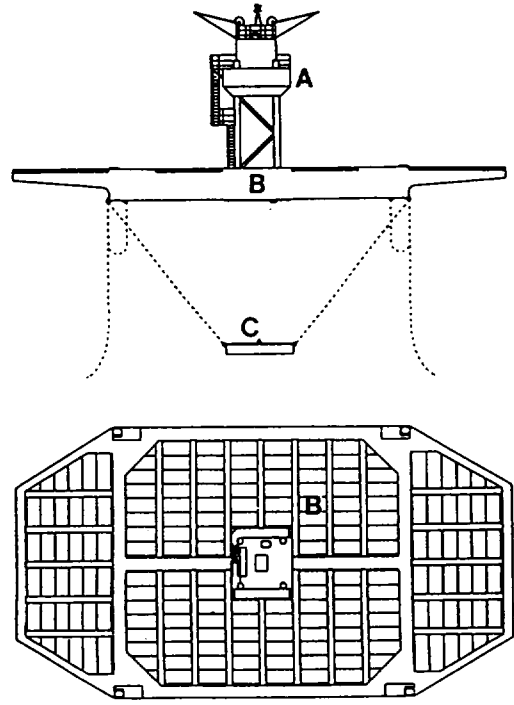


Fig. 3. General arrangement of artificial sea floor.

- A : Machinery room,
- B : Sea floor section,
- C : Balance weight

- ④ 양식생물 관리시는 시설을 부상시키도록 함
- ⑤ 부상 및 침하를 위한 메카니즘은 단순하게 설계되어 조작이 용이도록 함
- ⑥ 부상시 안정성을 높여 안전한 작업환경이 되도록 함
- ⑦ 체인과 앵커에 의한 카테나리 계류방식을 적용 시킴

이상과 같은 배경을 기초로하여 부침식 인공해저에 의한 해중공간 이용확대 기술개발이 이루어졌다.

### 인공해저의 개요

시설은 강제용접 구조물이고, 인공해저면(종방향 36.4m, 횡방향 20.0m, 면적 666m<sup>2</sup>)과 기계실이 2점 카테나리 방식으로 계류하였다. 인공해저면의 10m 아래에는 부상시의 안정성을 높이기 위하여 밸런스 웨이트가 설치되었다(Fig. 3). 인공해저면은 통상 수심 7m층에 놓여지고, 센터탱크의 해수를 배수함으로써 인공해저면이 부상하게 된다. 전복은 강제 망으로 만들어진 사육바구니에 수용하여 양식한다.

시설의 침수·부상조작은 간단하며 용이하다. 부상시키기 위해서는 조작원이 디젤발전기를 기동하여, 2대의 배수펌프를 작동시킨다. 약 1시간후에 펌프가 자동적으로 정지하지만 발전기는 조작원이 정지시켜야 한다. 침수시키기 위해서는 조작원은 2개의 주수펌프를 열면 된다. 시설은 자연해수에 의해 약 25분 정도의 침하시간이 걸린다. 이러한 조작은 1인으로 충분하며 안전하고 용이하기 때문에 별 어려움 없이 시설운용이 가능하다.

시설의 주요 항목은 다음과 같다.

- ① 인공해저의 길이 : 36.4m
- ② 인공해저의 폭 : 20.0m
- ③ 인공해저면의 침수상태 : 6.9m
- ④ 인공해저면의 부상상태 : 0.1m
- ⑤ 홀수조정능력 : 20톤
- ⑥ 부상소요시간 : 60분

⑦ 침하소요시간 : 25분

### 인공해저의 공학적 검토를 위한 사항별 계측상황

#### 실험방법

인공해저의 동요와 계류계에 걸리는 장력을 해상·기상조건과 함께 계측하고, 이와 더불어 모형실험에서 얻어진 결과를 검토하는 한편, 부침식 인공해저의 모델화를 위하여 현장 데이터를 계측하였다.

#### 모형실험

수조실험에 이용된 인공해저의 모형(1.8×1.0m)은 실물의 1/20로 설계·제작하였다(Fig. 4).

정상류 중에 있어서 저항계수의 측정에는 가고시마대학 수산학부 회류수조(길이 6m, 폭 2m, 수심

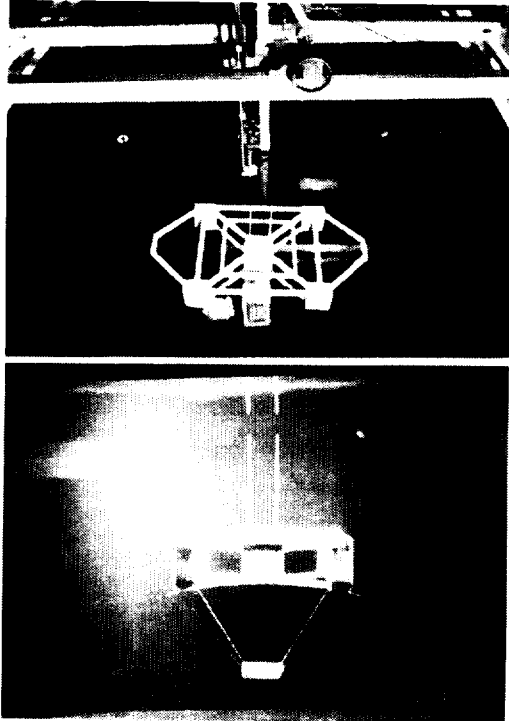


Fig. 4. Artificial sea floor model used in the water tank experiment.

1m)에서 행하였다. 실험은 유속을 10~90cm/sec까지 변화시키면서 모형면에 대한 흐름의 각도를 90, 70, 45°로 변화시켰다. 측정에는 부상기와 침하기로 나누었으며, 계측장치인 3분력계는 직경 1mm, 길이 3m의 와이어 2줄을 모형에 연결하였다. 또한, 모형의 상하, 좌우운동을 검토하기 위하여 측면에 비디오카메라를 설치하여 연속적으로 촬영을 행하였다.

파랑중에 있어서 유체력 및 운동에 대한 측정에는 해양과학기술센터 회류수조(길이 10m, 폭 2m, 수심 1.2m)를 이용하였다. 모형의 중량은 실물의 1/15,000로 축소하였다. 계류는 실물과 같도록 앵커체인을 사용하였으며, 계측에는 앵커체인 끝부분에 분력계를 달았고, 파고계를 설치하였다. 전체적인 모형실험의 계측방법을 개략적으로 Fig. 5에, 실험시의 파랑조건은 Table 1에 나타냈다.

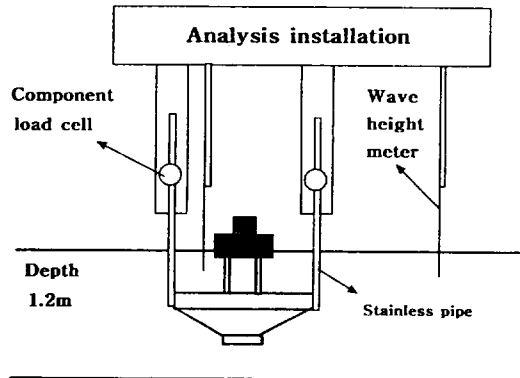


Fig. 5. Schematic drawing of model experimental apparatus.

#### 해역실험

계측장치의 배치를 Fig. 6에 나타냈다. 계측용 앵프 및 데이터 수록장치 등은 인공해저의 기계실에 배치하였고, 기계실 옥상에 풍력을 계측하기 위하여 풍향풍속계를 설치하였다. 한편, 옥상에는 주위의 금속영향을 받지 않는 방위계와 태양전지 패널도 설치되었다. 통상, 기후조건하에서는 6W의 전력을 공급할 수 있으며, 태양전지로 배터리를 접속해 미리 충전해 두면 15일간은 계측이 가능하다.

인공해저면에 2개의 용량형 파고계를 설치하였으

Table 1. Wave conditions of model experiments.

Model wave condition					Sea wave			Experimental condition	
Wave cycle Te(sec)	Wave length $\lambda$ (m)	$\lambda / L_M$	$\lambda / 25$ (m)	Wave height He(m)	Cycle Tw(sec)	Wave length Lw(m)	Wave height Hw(m)	Submerging	Surfacing
1.39	3.0	3	0.12	0.12	6.2	60	2.4	○	○
1.60	4.0	4	0.16	0.16	7.2	80	3.2	○	○
1.79	5.0	5	0.20	0.20	8.0	100.	4.0	○	
1.96	6.0	6	0.24	0.24	8.8	120	4.8	○	
2.12	7.0	7	0.28	0.28	9.5	140	5.6	○	
2.26	8.0	8	0.32	0.28	10.1	160	5.6	○	
2.40	9.0	9	0.36	0.28	10.7	180	5.6	○	
2.53	10.0	10	0.40	0.28	11.3	200	5.6	○	
2.65	11.0	11	0.44	0.28	11.9	220	5.6	○	
2.77	12.0	12	0.48	0.28	12.4	240	5.6	○	

Cf.) Reduced scale :  $1/\alpha = 1/20$ ,  $L_M = \text{Model length} = 1\text{m}$

$$L_w = \alpha \lambda = 20\lambda, \quad T_w = \sqrt{\alpha} \cdot T_e = 4.47 \cdot T_e, \quad T_e = \sqrt{2\pi\lambda/g} = 0.80\sqrt{\lambda}$$

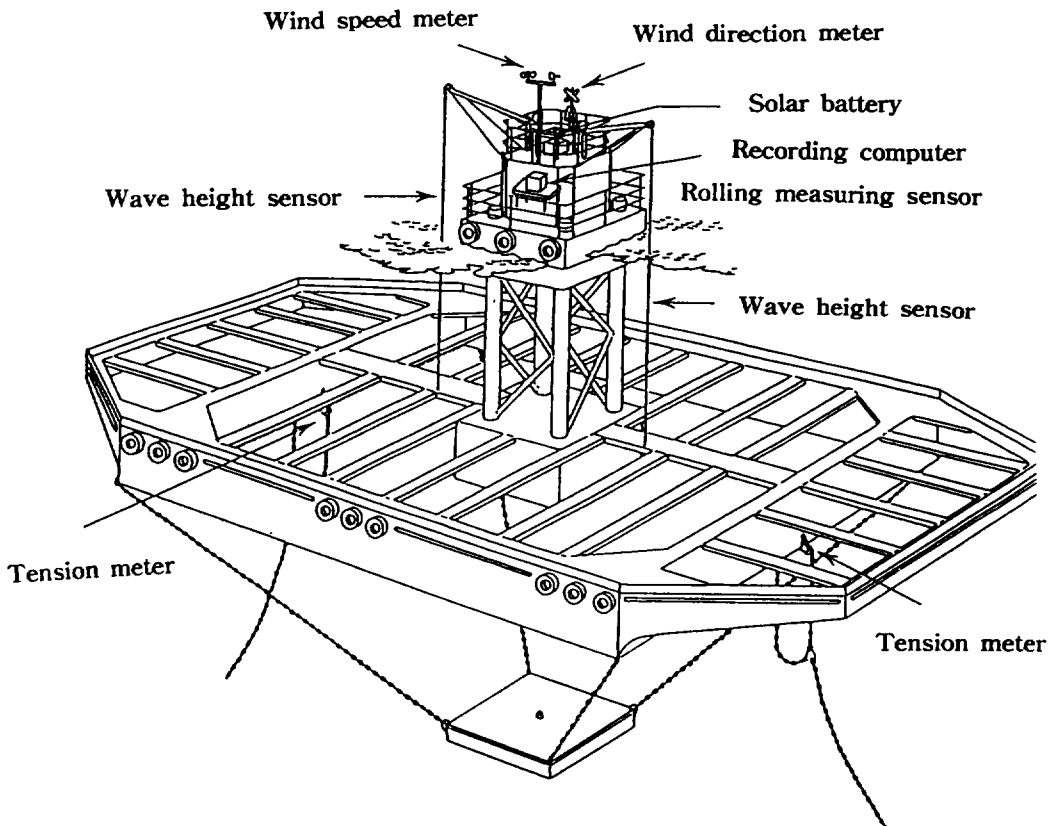


Fig. 6. Conceptual view of setup of movement and load measuring instruments in sea experiment.

며, 인공해저의 계류계는 해안선과 평행하게 전개되어 있어, 파고계가 인공해저에 의해 받는 영향은 문제가 없다고 판단하였다. 2줄의 계류계의 최상부에 장력계를 직접 부착시켰다. 한편, 기계실에는 3개의 가속도계와 3개의 진동자형 자이로 콤팩스로 구성된 동요계를 설치하여 육분력을 측정하였다.

또한, 인공해저의 구조배치를 결정하기 위하여 인공해저에 있어서의 유동환경 변화를 살펴보았다. 유속계의 설치지점은 상층(수면에서 12m)과 하층(수면에서 22m)이고, 각 층의 유향, 유속을 연속적으로 측정기록 하였다(Fig. 7). 유속계의 설치 및 회수는 다이버에 의해 이루어졌으며, 측정기간은 1996년 10월 25일부터 11월 18일까지로 15분 간격으로 데이터를 얻었다. 해석에는 1시간의 데이터를 평균한 후, 25시간 이동평균의 값을 구하여 1일 이하의 단주기 변동을 제거한 것을 기초 데이터로 사용하였다.

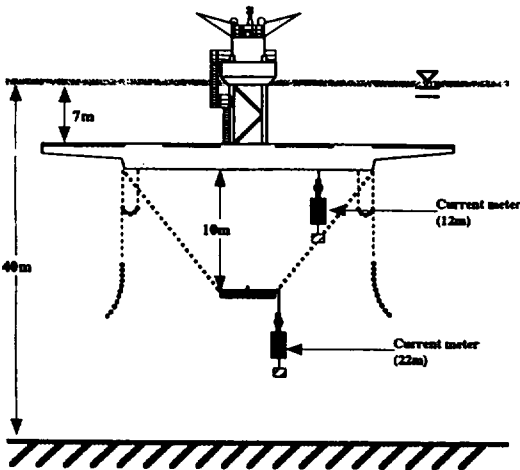


Fig. 7. Position of current meter.

설계조건

인공해저의 구성은 기계실, 인공해저면과 본체를 지지하기 위한 계류부로 이루어져 있으며, 인공해저에 미치는 외력조건은 파랑, 조류, 부착생물 등에 의해 달라지리라 여겨졌다. 한편, 인공해저의 설계는 인공해저면에 작용하는 외력과 해저면을 지지하

는 계류삭 장력 등의 계류부로 나누어진다(Fig. 8).

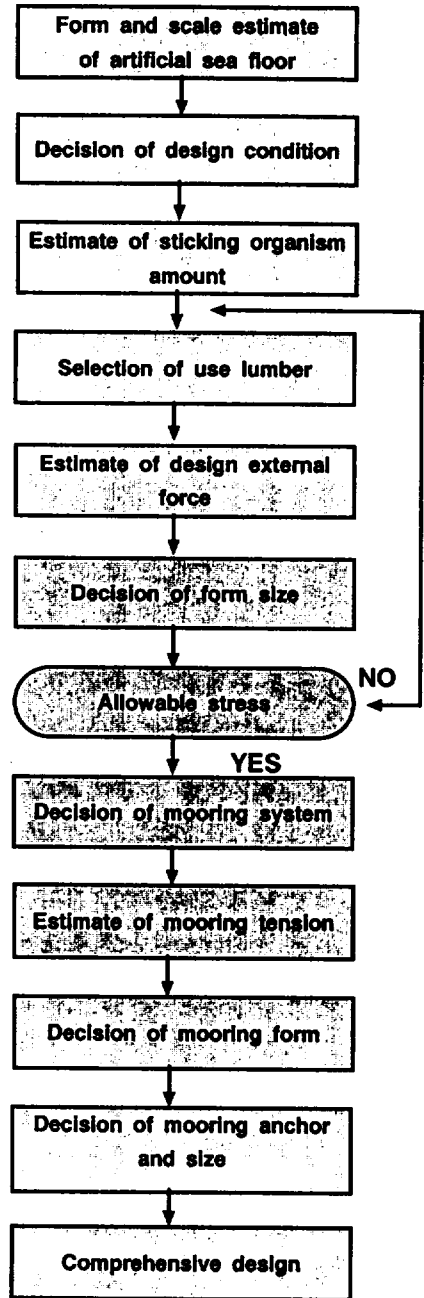


Fig. 8. Flow chart of design of artificial sea floor.

최종적으로 인공해저의 설계조건은 다음과 같은 방식으로 결정하였다(Table 2).

- ① 파랑 : 설치점 부근에서의 실측자료와 기압배치에 관한 과거의 테이터를 기초로하여 시뮬레이션한 수치에 의해 최대파고, 주기 방향을 정했다.
- ② 조류 : 현지조사에 의한 실측치를 해상보안청에 의해 구해진 조석조화 정수를 사용해 해석한 결과 및 현지부근의 실측자료 등으로부터 최대유속, 유향을 정했다.
- ③ 바람 : 현지부근에서의 계측자료를 기초로 정했다.
- ④ 수심, 저질 : 현지조사 결과에 따랐다.

Table 2. Design conditions of artificial sea floor.

Wave	Intention wave height	10.0m
	Maximum wave height	12.5m
	Wave cycle	13.0sec
	Wave direction	EES±30°
Flow	Flow speed	1.0kt
	Flow direction	All direction
Wind	Wind speed	40m/sec
Depth		40m
Sea-bottom		Quicksand

한편, 부어초를 비롯하여 해양구조물에는 반드시 부착생물이 착생하게 된다. 생물이 부착하면 수중 중량이 증가하여 잉여부력이 감소한다. 또한, 구조물면의 체적이 증가하여 유체력이 증가하게 된다. 일반적으로 부착생물의 종류는 해역에 따라 다르나, 본 인공해저가 부설되어 있는 해역에서는 담치가 주요한 부착생물이었다. 조사기간 동안에 담치가 부설기간 동안에 최대 어느 정도까지 부착하여, 그때의 중량과 체적이 어느 정도가 되는지는 확실히 예측할 수 있는 자료를 얻지 못했다.

**이론적 고찰 및 계측결과**

**설계 이론계산**

**정상류 중에서의 유체력**

풍력  $F_w$ , 조류력  $F_D$ 에 대해서는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_w = \Sigma 1/2\rho U_w^2 A C_D \tag{1}$$

$$F_D = \Sigma 1/2\rho' U^2 A' C_D' \tag{2}$$

- $\Sigma$  : 각 구성 구조물면의 합계
- $\rho, \rho'$  : 공기밀도, 해수밀도 ( $kg \cdot sec^2/m^4$ )
- $A, A'$  : 풍압면적, 조류방향의 투영면적 ( $m^2$ )
- $C_D, C_D'$  : 항력계수

**파랑 중에서의 인공해저의 운동**

본 구조물의 해저면은 수면하에 잠겨있으며, 해저면의 길이는 파장에 비해 짧기 때문에 인공해저의 운동은 파의 입자운동과 거의 같다고 추정되었다. 인공해저면의 실제의 설치수심인 수면하 10m층의 파입자의 운동을 인공해저면의 공간적 길이로 평균한 것을 인공해저의 운동으로 여겨졌다.

인공해저의 수평운동, 상하운동의 전 진폭은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{X}{2} = \frac{1}{l} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{H}{2} \frac{\cosh k(z+h)}{\sinh kh} \cos(kx - \omega t) dx \tag{3}$$

$$\cos(kx - \omega t) dx$$

$$\frac{Z}{2} = \frac{1}{l} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{H}{2} \frac{\sinh k(z+h)}{\sinh kh} \sin(kx - \omega t) dx \tag{4}$$

$$\sin(kx - \omega t) dx$$

- $H$  : 파고,  $\omega$  : 파의 원 주파수,
- $k$  : 파의 수( $2\pi/L_w$ ),  $L_w$  : 파장,  $h$  : 수심,
- $l$  : 인공해저면의 길이,
- $x$  : 파의 진행방향을 「+」으로 함,
- $z$  : 수면상을 「+」으로 함

**모형실험**

**항력계수**

정상류 중에 설치한 인공해저의 모형에 작용하는 항력은 흐름에 대해 모형의 각도가 변화해도 부상,

침하시 유속의 자승에 비례하여 증가하였다. 또한, 항력은 흐름에 대해 모형의 변이 90° 인 경우가 가장 작고, 45° 인 경우가 가장 크게 나타났다.

본 연구에서 항력계수  $C_d$ 는 다음과 같은 식을 적용하여 산출하였다.

$$C_d = \frac{F}{1/2PSV^2} \quad (5)$$

F : 모형 인공해저에 작용하는 항력

S : 모형 인공해저의 투영면적

P : 유체밀도

V : 유속

실험에 사용된 모형 인공해저의 투영면적과 위치에서 구한 각도별 항력계수는 Fig. 9에 나타났다.

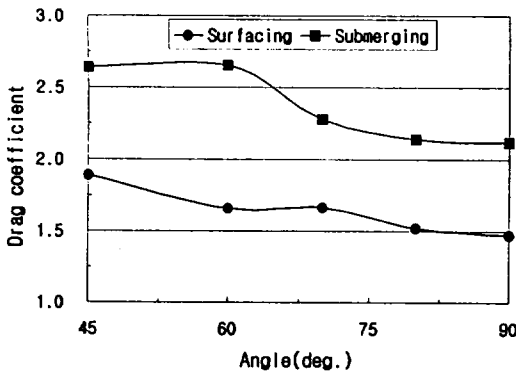


Fig. 9. Relationship between drag coefficient of a artificial sea floor model at the difference of a flow angle.

여기서, 투영면적은 한번이 흐름에 대해 직각인 경우를 기준으로 하였다. 항력계수는 부상시, 침하시라도 모형이 흐름에 대해 각도가 90° 에서 45° 로 내려올수록 증가하는 경향을 보였다. 또한, 침하시의 경우가 부상시 보다 약 1.4배 정도가 크게 나타났다. 한편, 실험의 인공해저에 작용하는 유체력을 산정해 보면 유속 30cm/sec의 흐름에 대해서는 부상시 약 4.7톤, 침하시 약 9.4톤 정도의 유체력이 작용하는 것으로 추정되었다.

### 파랑 중에서의 인공해저의 운동

각각의 파랑조건하에서 모형 인공해저에 작용하는 수평방향과 수직방향의 파력을 기록한 계측데이터의 예를 Fig. 10에 나타냈다. 여기서, 파랑조건이 같을 때 침하심도가 낮은 경우(수심 4m)와 깊은 경우(10m)를 비교한 결과, 침하심도가 깊은 경우의 상하동요가 낮은 경우 보다 약 23% 전후동요는 약 36%가 감소했다. 한편, 모형의 밸런스를 유지하기 위하여 설치된 밸런스웨이트의 운동은 직접파에 의한 외력보다는 본체 구조물의 동요에 의존하는 것으로 생각되었다.

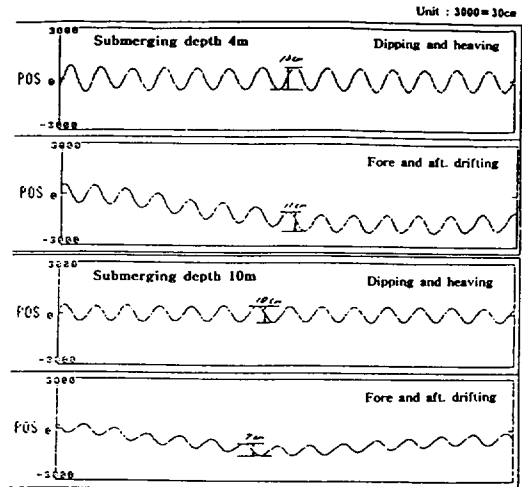


Fig. 10. Example records of movement of the artificial sea floor at the water tank experiments.

또한, 파랑중의 모형 인공해저의 좌우, 상하 가속도는 파형균배의 증가에 따라 크게 되는 경향을 보였다. 어떠한 파형균배의 파랑 조건하에서도 침하시의 경우가 운동가속도는 대단히 작고, 모형의 동요도 적어 안정한 자세를 유지하였다.

결론적으로 침하심도가 깊으면 깊을수록 인공해저는 안정되지만, 심도가 깊으면 태양에너지가 적어 양식중인 전복 및 먹이로 하는 다시마류 등에 피해를 끼칠 수 있다. 모형실험 결과, 인공해저의 침하심도는 10m이하로 하는 것이 유효적이라고 판단되었다.



해역실험에 의한 인공해저의 운동

실해역에서의 계측은 1997년 2월부터 행하였다. Fig. 11은 데이터의 일례를 나타낸 것으로, 계측은 2시간 간격으로 15분간의 데이터를 기록하였다.

평균풍속은 5m/sec로 대략적으로 2m/sec의 진폭을 갖고 있었다. 계류삭에 걸리는 장력의 위상은 바람이나 파도와 일치하였다. 인공해저는 반잠수형의 구조물이라 파랑에 의한 계류삭에 걸리는 장력은 적다고 판단되었다. 계측결과, 바람이 장력에 큰

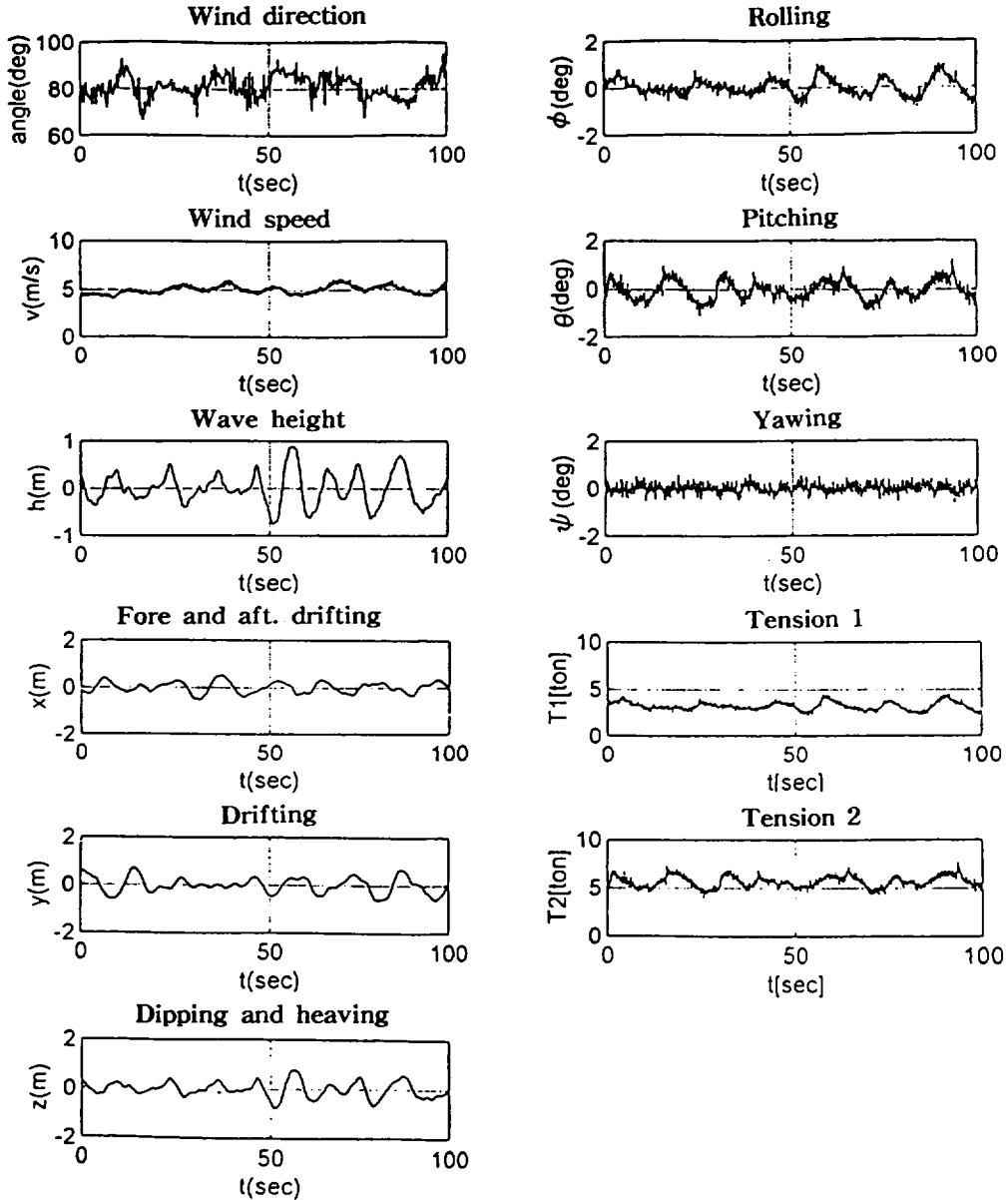


Fig. 11. Example records of environmental condition and movement of the artificial sea floor at the sea experiments.

영향을 주고 있다는 것을 알 수 있었다.

한편, 2개의 파고계의 값은 거의 일치하고 있어, 이들의 평균치가 인공해저의 동요를 해석하기 위해 파치와 로울의 영향을 제거하는데 이용되어진다. 인공해저의 동요는 주로 파도에 의한 영향이 큰 것으로 추측되었다. 인공해저는 해안가 가까이에 설치되어 있어 북동 계절풍으로 인해 생기는 풍랑은 그다지 크지 않으나, 파도는 만입구 방향인 남동으로부터 입사하여 바람과 파도와의 방향은 다르다. 계류계에 걸리는 외력계산 모델을 개발하기 위해서는 이러한 점에 주의가 필요하리라 여겨졌다.

인공해저에서의 유동환경 변화

1996년 10월 25일부터 11월 18일까지 상층과 하층에 있어서 유속벡터의 결과를 Fig. 12에 나타냈다. 상층에서는 船主成灣 내로 유입을 나타내는 북동방향의 흐름이 우월했고, 하층에서는 만 내에서의 유출을 나타내는 남향의 흐름이 우월하게 보여졌다. 이 관측기간 동안에 있어서 상층의 최대유속은 약 12cm/sec이고, 평균유속은 약 8cm/sec이었다. 한편, 하층에서의 최대유속은 약 8cm/sec이고, 평균유속은 약 3cm/sec이었다. 상층에서의 평균유속은 하층보다 약 2배정도가 높아, 흐름은 상층으로 유입하여 하층에서 유출하는 현상이 현저하게 나타났다.

Fig. 13은 관측기간에 있어서 상층과 하층의 유향빈도를 나타낸 것으로, 상층에서는 북북서에서

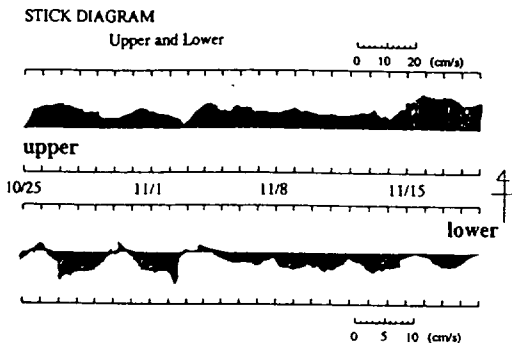


Fig. 12. Stick diagram of the current velocity at artificial sea floor during 25, Oct. 1996 - 18, Nov. 1996.

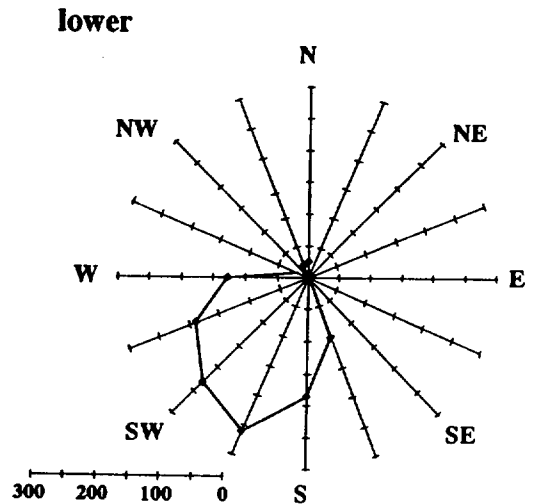
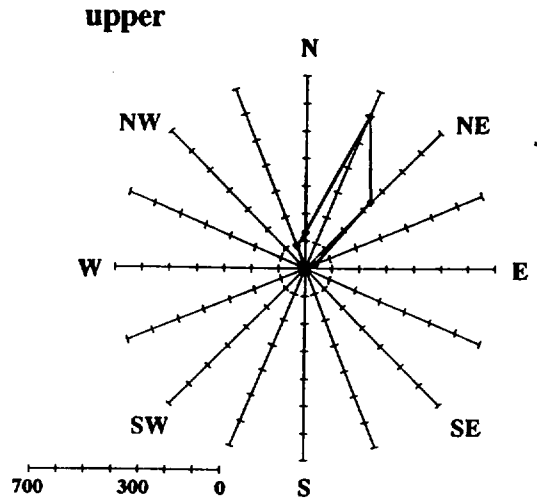


Fig. 13. Frequency distribution of the current direction at artificial sea floor during 25, Oct. 1996 - 18, Nov. 1996.

북서방향의 흐름이, 하층에서는 남서에서 남향의 흐름이 우월하게 나타났다. 이러한 결과는 외양수가 상층으로 유입해, 만내수는 하층으로 유출하는 해수교환이 이루어지고 있다고 생각되었다.

결론

본 시설의 안정성에 관해서는 인공해저에서 작업

이 가능한 해상상태에서는 동요를 느낄 수 없는 정도였다. 부상상태에서는 풍파에 의해 파도가 높아도 인공해저면에서의 작업이 가능하였다. 평상시, 인공해저가 침하 및 부상상태에서는 경사가 보여지지 않으나, 강풍이나 큰 파도가 있을 때에는 침하 상태에서 부상시키는 도중에 경사가 일시적으로 5~6° 정도가 되었다. 이러한 경향은 평상시의 해상·기상조건하에서는 발생하지 않았으나, 앞으로 검토되어야 할 사항이라고 판단되었다. 작업원이 인공해저로 옮겨 양식중인 전복에게 먹이를 공급하기 위해서는 해상·기상상태가 좋은 날을 선정하여 행하고 있어, 실제로 부상시키는 도중에 발생하는 경사는 큰 문제가 없으리라 여겨졌다.

한편, 일본주변에 수심 100m까지의 해역면적은 약 16만 km<sup>2</sup>이고, 국토면적의 약 42%에 상당한 것이다. 이러한 해역에 본 시설과 같은 해양구조물을 설치하기 위해서는 환경조건에 대응하는 설계기준 개발이 필요하리라 여겨진다. 그리고, 안전성을 확보하기 위해서는 이론적, 실험적인 연구가 반드시 필요하며, 최종적으로는 수치모델에 의해 안전한

설계가 될 수 있도록 해야 한다.

마지막으로 인공해저는 앞으로 연안해역을 다양하게 활용할 수 있는 수단으로서 유망하며, 해양목장화 시스템의 일종으로도 이용될 수 있다고 생각되었다. 또한, 전복 등의 패류양식 기법으로서 제주 연안 해역에 도입, 설치해도 구조물상 큰 문제는 없다고 생각된다.

## 참고문헌

- 本多勝司·明瀬博彦, 1982. 浮魚礁の模型と實物實驗結果の檢討. 日本水産學會誌, 48, 927~931.
- 上城義信, 1984. 音響馴致システムによる魚群制御. 日本水産工學學會誌, 28, 65~70.
- 岡本峰雄, 1983. 人工藻場プラントにおける魚群の日周行動について. 日本水産學會誌, 49, 177~182.
- 洪性完, 1997. 浮沈式海洋構造物の人工魚礁機能に関する研究. 博士學位論文, 鹿兒島大學, p. 1~229.