論 · 壇

21世紀를 향한 우리나라 水産土木

漁場性등 漁業環境과 調和이뤄

崔 榮 博 〈고려대학교 교수, 土木, 工博〉

머리말

수산토목이라 하면 우리 수산기술분야에서는 증양식시설과 어항시설의 두 가지를 주요대상으로 하여 왔다. 최근 신해양법에 의한 자국의 연안 200해리(1해리=1,852 m)까지를 경제수역으로 설정하는 제한도 있고 거기에다 국제법상 보장되어 있는 공해상에서의 어로 자유행위도 자권의 제약이라는 측면에서 어장확보는 해마다 어렵게 되고 있다.

이 때문에 수산업도 '잡는 어업'에서 '해양목장'으로의 대전환이 필요하다는 것이 내외에서 인식되고 있다.

특히 60년대, 70년대부터 원양어로해역 예컨대 태평양이나 북양수역 등이 해마다 축소될 경향에 있고 또한 연안부의 수질악화에다 근년의 난획(亂獲) 등에 의한 수산자원의 고갈, 특히 연안어업의 부진에서 수산자원의 증산확대를 위한 대책이 급선무로 요청되고 있다.

따라서 연안어업구조개선사업의 실시가 절실하게 되어 그 일환으로 어장조성과 개량 및 어항시설 등의 건설사업이 추진되어 왔다. 앞으로도 원양어업은 국제규제의 강화에 따라 퇴조되고 있어서 근해어업이 급신장하지 않으면 수요량 확보가 어렵게 될 것이다.

하지만 근해어업은 안정적생산을 기대할 수 없는 약점이 있어서 우리 나라 앞으로의 국민들의 식생활에 있어서 단백질원으로서 어개류(魚介類)가 차지하는 비율의 증가로 어획고의 수요증대추세에서 볼 때 연안어업의 생산성 향상에 대한 노력과 적극적인 투자가 요청될 수 밖에 없다.

이 까닭에 토목기술로서 수산토목(Fishering Engineering, 또는 Aquacultural Engineering)의 기술발전이 요청된다. 수산자원개발에 관한 환경제어기술부문을 '수산토목'으로 정의한 경우도 있으나 어항시설 등을 포함한 수산공학과 같은 광의의 의미에서 사용되기도 하였다.

한편, 최근까지 어선어업인 '잡는어업'에서 '만드는 어업' 즉, 재

배어업으로 급속히 발전되고 보급되었다.

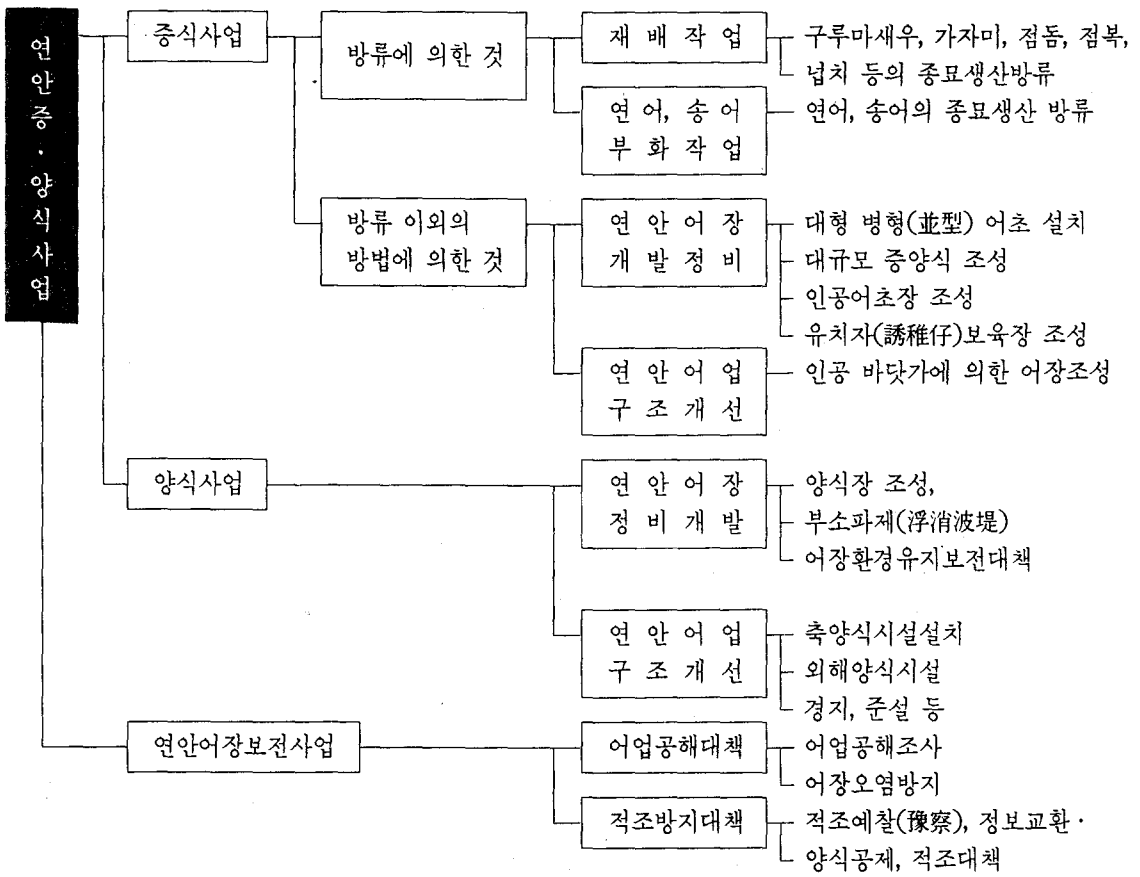
재배어업이란 수산물의 양식기술을 필요로 하며 이에 연관된 토목기술이 수산토목으로 불리우게 되었으며 주로 수산환경을 제어하기 위한 기술개발을 목적으로한 연구가 시행되게 되었다. 즉, 수리학상 유리한 양식장의 구조, 해만(海灣, Bay)을 양식·축양어장으로 하는 흐름 등의 수리학적 검토 등의 문제이다.

또한 이들 시설이나 사육되는 수산생물을 재해에서 방어해야 하는 문제도 있고 파랑과 해류, 조류 등의 제어가 필요하게 되었다.

따라서 수산생물의 성장에 대한 인간의 참여방식에 따라 '만들고 기르는 어업'은 증식과 양식으로 나누어지고 일괄해서 증·양식이라고 부르는데 연안증양식사업은 다음 〈표 1〉과 같이 나누어진다. 이 중에서 수산토목과 관계있는 사업은 연안어장 정비개발사업과 연안어업구조개선사업이다.

이들 사업이 성공하자면 '늘게 하고', '살찌게 하고' '잡기'위해 대상으로 하는 생물의 생리생태를 알고, 여기에 최적의 어장환경과 조성해역의 자연환경의 차를 수산토목기술을 구사해서 가능한한 축소시키는 것이 필요한데 대상생물의 생리생태와 어장의 자연환경과의 관계를 정량적으로 나타내는 것에 곤란한 것이 많으므로 이와 같은 의미에서 수산토목은 여러 학문사이, 즉 학제적(學際的)분야라고 볼 수 있다.

〈표 1〉 연안증양식 사업의 각종사업 위치분류



■漁場造成技術

1. 魚礁漁場의 造成

수산생물이 어떤 이유로 암초 등에 모이는 것은 본능으로서 어느 종류의 고기는 수중의 물체와 밀접한 관련을 가지고자 하는 욕구를 본능적으로 갖고 있다 한다. 이 위집(蝟集)본능을 이용해서 어장을 조성코자 하는 것이 인공어초(Artificial fish reef)의 심설(沈設)이다.

어초의 형상이나 재료에 대해서는 대체로 어종에 관계없이 콘크리트제의 중공입방체(中空立方體, 한 변이 1~3m) 또는 중공원통형(中空圓筒型)의 것이 있는데 사빈지대에 대해서는 한 변이 10m에 미치는 삼각주상의 것도 나타나 있다.

어초의 강도계산에 있어서는 투하할 때의 침강속도를 계산하고 착지할 때 받는 충격력을 구할 필요가 있다. 그리고 고기의 위집(雲集이라고도 함)효과는 어초배후에 발생하는 소용돌이(渦流, Vortex)의 크기(유체역학적 음영이라 한다)에 연관이 있다고 해서 어초의 형상과의 관계를 조사한 연구가 있다.

2. 養殖漁場의 造成

양식어장의 필수조건은 다음과 같다.

①육성에 있어서는 충분한 수심과 면적을 가질 것

②시설이나 대상생물이 파랑에 대해 안전할 것

③용존산소량이 충분하고 미소한 유속일 것

④대상생물이나 시설의 관리가 능한 일수가 파랑 정온일수에 언걸 맞을 것

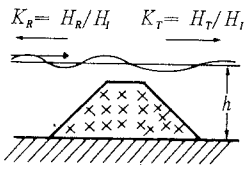
⑤담수화 하지 않을 것

⑥다시마, 미역, 가리비 등의 무급이생물의 경우는 필요한 영양염(營養塩)이나 모이가 되는 미생물을 많이 포함할 것

등을 열거할 수 있다. ②~④의 목적을 위해 〈그림 1〉의 (C)와 같은 부소파제(浮消波堤), 부방파제가 개발 사용되고 있다.

〈그림 1〉의 K_R 및 K_T는 투과성방파제(Permeable breakwater)에 있어서 반사율 및 전달률(투과율로서 Transmission factor)로 정의 된다.

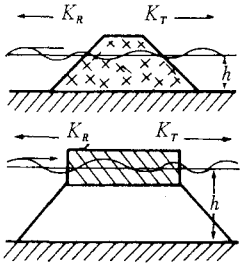
여기서 투과성방파제에 의한 파랑의 전달 및 반사는 〈그림 2〉와 같고 구조물의 반사율K_R은 〈표 2〉와 같고 반사율 K_P와 전달율 K_T는 〈그림 3〉과 같다.



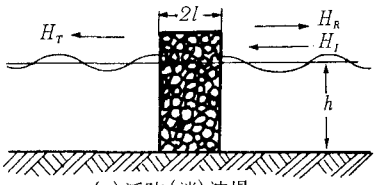
(a) 水中透過性防波堤(捨石, 異形블럭)

〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 투과성방파제의 폭을 2ℓ, 공극률을 λ로 하고 우측에서 좌측으로의 파고 H_I의 파랑이 입사하여 방파제에 충돌하면 일부는 파고 H_R의 반사파가 되고 또한 파고 H_T의 투과파가 되어 직진한다.

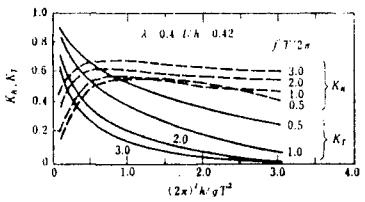
이 경우 투과파고(H_T)와 입사파고(H_I)의 비가 K_T로서 다음 식으로 표시된다.



(b) 透過式 防波堤



(c) 浮防(消)波堤



〈표 2〉 구조물의 반사율(K_R)

구 조 양 식	반 사 율
직립벽(천단은 정수면상)	0.7 ~ 1.0
직립벽(천단은 정수면하)	0.5 ~ 0.7
사석사면(2~3할구배)	0.3 ~ 0.6
이형소파블럭사면	0.3 ~ 0.5
직립소파구조물	0.3 ~ 0.8
천연해빈	0.05 ~ 0.2

$K_T = H_T/H_I$ ……(1)

〈그림 3〉에서의 f'는 비례상수이다

방파제에는 각종 형식의 것이 있는데 대별하면 평저선(平底船, Pontoon)이나 케이슨 또는 방벽(防壁, Barrier)과 같이 강성부체와 널판(sheet)와 같은 요성부체로 구분된다.

기대되는 투과율 K_T는 0.5이하, 설계파랑은 강성부체에 대해서 $(H_0)_{1/2} < 3m$, $(H_0/L_0)_{1/3} = 0.02 \sim 0.06$, 요성부체에 대해서 $(L_0)_{1/3} < 100m$, $(H_0/L_0)_{1/3} < 0.04$로 하고 또 부체의 규모는 전자의 경우 부체폭은 L/4~L/2, 홀수는 H/2이상, 후자의 경우는 부체의 길이가 L/2이하가 정하여져 있다

여기서 H_0, L_0는 심해파(Deep water wave)의 파고및 파장이고 H, L 은 천해파(Shallow water wave)의 파고파장이다.

설치수심은 20~100m가 경제적으로 유리하다 한다.

부소파제는 파랑제어수단이나 고요한 내만에서는 밀식(密植)과 잔이(殘餌)에 의해 용존산소량이 결핍하고 해수교환의 악화까지 겹쳐서 발육부전(不全)이 발생하므로 지형을 바꾸어서 용존산소량이 많은 외해(앞바다)의 해수와 산소량이 감소한 어장내의 해수와의 활발한 교환을 꾀하는 토목사업이 실시되어야 한다.

작령(해저에 도랑을 파는 것), 만구(灣口)나 호구(湖口)의 유출입 단면적의 확대, 터널이나 호구의 개착(다른 인공 유토입구를 만드는 것), 도수로의 건설 등이 그것이다.

3. 增殖漁場의 造成

지금 어떤 水域을 생각하고 여기서 어획대상이 되는 성어의 개체수를 N_1, 거기서 1년후의 성어의 개체수를 N_2라고 하면

$$N_2 = N_1 + \alpha$$

$$\alpha = A+B-C-D-E-F+G$$

여기서 α는 1년간의 개체수의 증가량이나 그 내용은 다음과 같다.

A : 타수역에서 들어오는 성어(成魚)수

B : 여기서 산란생장하고 정착한 성어수

C : 다른 수역으로 이동한 성어수

D : 성어의 자연사망수(천적에 의한 포식수 D_1, 수명에 의한 수 D_2, 병에 의한 것 D_3으로 된다)

E : 인위적인 수질오탁에 의한

〈표 3〉 대규모증식장 개발사업의 공사종류

성 장 단 계 별 목 적	대 응 하 는 공 사 종 류
(1) 해류, 조류, 취송류(吹送流) 등을 이용해서 부유유생(浮遊幼生) 등을 모으기 위한 완류(緩流)·와류역(渦流域)을 조성한다.	도류제, 이안제, 돌제 등 설치, 내만천해부에 있어서 작령
(2) 부유유생 등에서 미성어에 이르기까지 소위 중간육성의 장 만들기	
가. 착서장(着棲場)을 만들기 위한 저질(底質) 개선	준설, 복토, 경운(耕耘)정지사업, 투석
나. 서식장을 만드는 것	유치자용 어초, 초류(草類)육성초
다. 생존율을 높이기 위한 외적(外敵)방어대책	천적방어형의 육성초의 설치
라. 복도암초	투석, 복도암초의 설치
(3) 산란친어(產卵親魚)의 보호를 한다.	
가. 산란친어의 서장(棲場)	재래의 어획형어초와 다른 보호형(중량이 크고 어획하기 어려운 형)의 어초의 설치
나. 사료만들기	초류육성초

성어의 사망수

F : 그 수역에서의 성어의 어획수

G : 기타 원인에 의한 성어의 증감수

로 된다. 따라서 A, B를 증대시키고 C, D, E, F를 감소시키면 N_2가 증대하는 것이 된다.

이들은 대회유하는 꽁치, 중회유하는 참돔, 착저(着底)하는 점복에서는 큰 차가 있다. 꽁치는 A, C가 크고 타(他)는 작고, 참돔은 모두 중정도, 점복은 A, C가 작고 타는 크다. 이중에서 증식에 특히 관계가 깊은 것은 A, B, C, D 및 F로서 증식어장의 조성이란 증식의 대상이 되는 생물종이 현재 정착하고 있는 호적(好適)인 환경내에 있는 일부 수역을 더욱 증식효과의 높은 환경으로 개선코자 하는 토목사업이다.

A는 타수역에서 그 수역으로 들어오기 쉽게 하는 것이므로 이안제(離岸堤)나 돌제 등에 의해 자영력이 부족한 부유란이나 치자(稚仔)가 흐름을 타고 들어오도록 한다든가 해저지질을 적절하게 개선해서 치자가 착저하기 쉽게 하는 것이 필요하다.

B는 점복 등에 있어서 가장 중요한 부분으로 수정, 산란장, 착저장, 유치자의 보육장의 정비개선이 여기에 해당된다.

C는 타수역으로 이동하지 않도록 하는 것으로 이동에 의해 재생산에 필요한 어미의 수 이하가 되면 증식장이 될 수 없다.

매력있는 환경조건으로 개선하는 것이 증식에 있어서 매우 중요하다.

D_1에 대해서는 천적이 침입불가능하도록 거처인 집을 주는 것이다.

F는 어획량의 문제로서 이것이 너무 많으면 수정이 불가능하므로 산란장으로 볼 수 있는 수역부근에서는 어획을 제한하고 산란어미가 모이도록 연구 고안해야 한다.

〈표 3〉은 증식어장조성을 위한 공사의 종류를 성장단계별로 나타낸 것이다.

海中牧場計劃과 構想

세계에서 어획된 수산생물의 양은 100년전에는 고래(鯨)류 등을 포함하여도 겨우 2백만톤 정도라는 추정값이 있다.

계속해서 1900년대에 들어가서 배로 되고 그후 매우 증가해서 1950년에는 5천만톤, 1970년에는 약 7천만톤에 도달하였다. 21세기의 세계인구의 증가를 생각하면 인류는 해양에서의 생물자원의 어획에 더욱 기대하는 바가 크다.

그러나 어업이 왕성해짐에 따라 넙치 등의 저어류나 연어·다랑어류 등의 중요한 어종은 그 자원의 감소가 나타나서 국제적인 엄중한 자원관리하에 있으며 어획에 대한 규제가 국제적으로 매우 강한 추세에 있다. 이에 대해서 세계해양에서 가장 대량으로 어획되는 어종은 해에 따라 변동은 있으나 모두 영양단계의 낮은 중·하급 어종으로 된다.

세계어획가능한 량은 연간 2억톤이며 남극(빙)양의 정치망에 의한 부존량은 10억~50억톤으로 추정하고 있다.

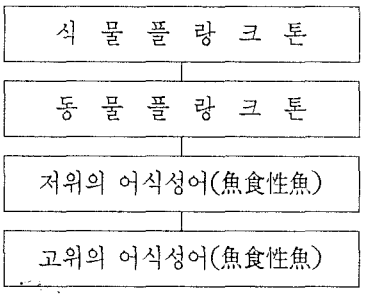
앞으로 어업전관수역 200해리가 정착됨에 따라 감산할 수 밖에 없다고 예상되고 있다.

감산되는 것은 돔, 다랑어, 가자미, 연어 등의 중·고급어이며 현재의 증·양식기술, 재배기술로서 이것을 커버하는 것은 어렵다.

따라서 근본적으로는 해양목장(Marine ranching)시스템을 추진하지 않으면 뒤따라 갈 수 없다는 것이 내외전문가의 일치된 예상이다. 단순히 치어를 부화하고 방류해서 그 뒤는 자연에 맡기고 혹은 그 고기의 체중의 10배의 모이를 주어 크게하는 재래의 수법에서 일보 전진해서 어류의 증식메카니즘을 해명하고 나아가서 증식하기 쉬운 환경조성을 인위적으로 시행하는 것이 해양목장의 구상이다.

일본의 예에서는 이 '해양목장계획'을 '근해어업자원의 가어화(家魚化)시스템'으로 여기에 대응케 하였다.

먼저 현실의 해역에서는



라 하는 식물연쇄가 행하여짐으로 이 법칙이 들어맞는 복합형어개류자원증식기술시스템이 포인트로 한다.

예컨대 대회유어인 흑다랑어는 대만외해, 오기나와(沖繩)외해에서 산란, 부화 후 일본열도의 태

평양측, 동해측을 북상하고 미국 가주(加州)수역으로 회유, 2~3년 후에 일본근해에 되돌아와 6~7세가 되면 고향의 대만외해나 오기나와외해로 회귀해서 산란한다는 노선(Route)을 취하고 있다. 이 노선에 있어서 식물연쇄는 미역해조, 개다시마, 모자반(褐藻類) 등의 해조류를 점복이나 섬게 등의 해저생물이 먹어서 증가하고 이 점복, 성게를 중·고급어가 먹어서 증가하는 패턴을 알 수 있다. 여기서 최초의 해조류를 대량생산한다면 중·고급어의 증식이 된다는 사유가 되는 것이다.

이 방법에서 가리비(부채모양의 바다조개)의 증식에 성공하였다. 먼저 가리비의 무완(無完)생물인 불가사리(海星)를 구제한 후, 대량의 가리비의 종묘를 방류함으로써 가리비 수양량 8만3천톤중 66%를 잘 처리하였다.

여기서 해조류에 적합한 수온, 광량(光量) 등 각해역에 있어서 군락(群落)의 생태적특성을 해명하고 그 최적조건을 탐색하여 해조를 대량재배하고 중·고급어를 모이게 해서 대량증식하는 해양환경을 조성하는 것이 필요하다.

중·고급어의 유치자를 발생하기 쉽도록 하자면 어떤 해저공작물을 설정하는 것이 좋은가의 종묘확보기술, 부화후의 생존율을 높이기 위한 생물의 관리기술, 호적(好適)한 어장환경을 창조하는 어장환경제어기술의 개발이 해양목장을 실현하는 결정타가 된다.

'잡는 어업'에서 '만드는 어업'으로의 우리 나라에도 큰 전환기가 온다는 것을 알고 이를 준비해야 한다고 본다.

여기에 외국에 제안되고 있는 해중목장구상을 한 예로 소개하기로 한다.

그 구상은 어디까지나 수산자원의 장래의 안정공급을 목표로 하며 그 구상의 기본방침은 어장으로서의 가치가 비교적 낮은 연안해역에서 대륙붕부분중 주로 사니역(砂泥域)을 유효이용해서 좁아지는 근해어장을 보완하는데 두고 있다.

이 까닭에 해역의 오염방지·정화 등으로 어장으로서의 기능을 부활하고 효율적이고 안정적수산자원공급을 위한 고도의 어장을 창출하느데 두고 있다.

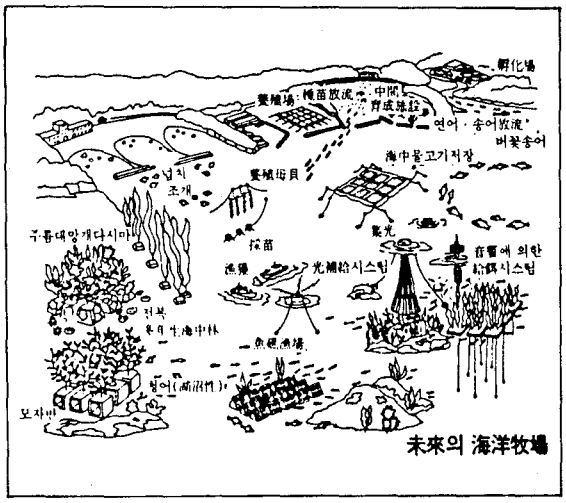
먼저 해양생물의 생태를 파악하기 위해 대기압아래 자유왕복가능한 통로를 가진 해저연구소를 설치한다.

이는 단순히 목시(目視)에 의한 모니터링을 할 뿐만 아니라 해중비쿨(해중관측정)의 발진기지나 해중로보트에 의한 시료채취 등 해양의 각종 정보수집이 가능한 시설로 한다.

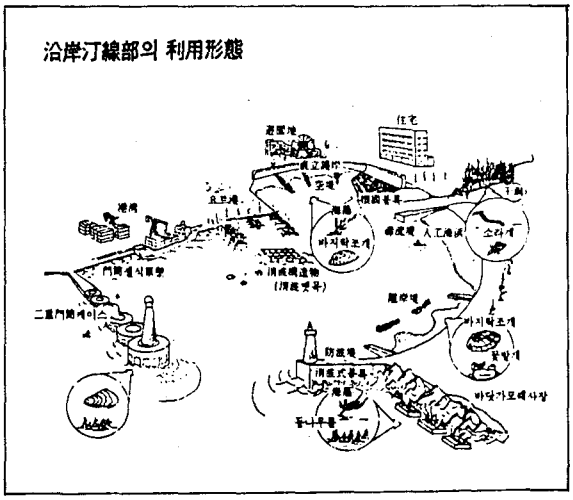
연안부의 사니(砂泥)는 부소파제, 잠제(수중제) 등에 의해 자연환경을 보전하면서 정온화해역을 창조해서 유치어육성역 등으로 한다.

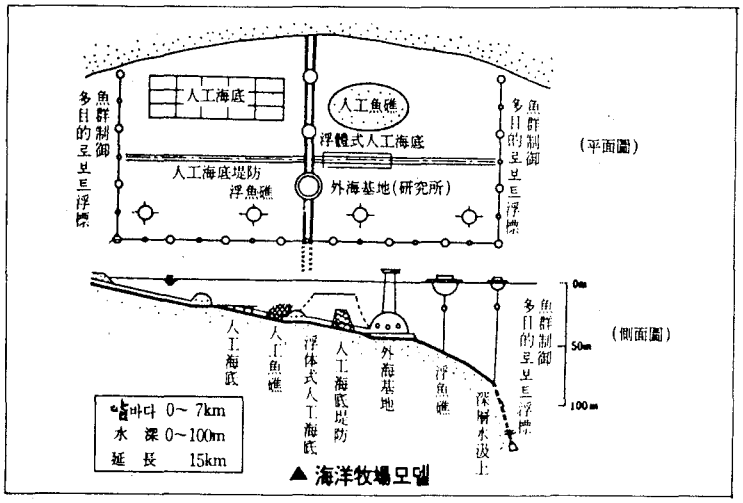
앞바다의 사니역에는 조류착상을 위해 인공해저를 설치하고 자연환경보전을 행한다. 또한 앞바

〈그림 4〉 연안어업의 이용형태



〈그림 5〉 해양목장의 미래





▲ 海洋牧場모델

다에는 용승류(湧昇流)를 발생시키는 인공해저제방을 설치하고 심층수영양분의 효과적인 이용을 도모한다.

나아가서는 대륙붕보다 깊은 심층수를 채취해서 해저기지의 해중관측통로에 병설한 취수관을 통해 유치어육성역에의 영양염보급에 이용한다.

앞바다에는 어군제어부표 등을 설치하고 어로의 효율화와 보전을 고려한다.

또한 이들 부표는 해상이나 생물의 모니터링기능을 가지고 모든 정보를 앞바다 기지에서 집중관리케 한다.

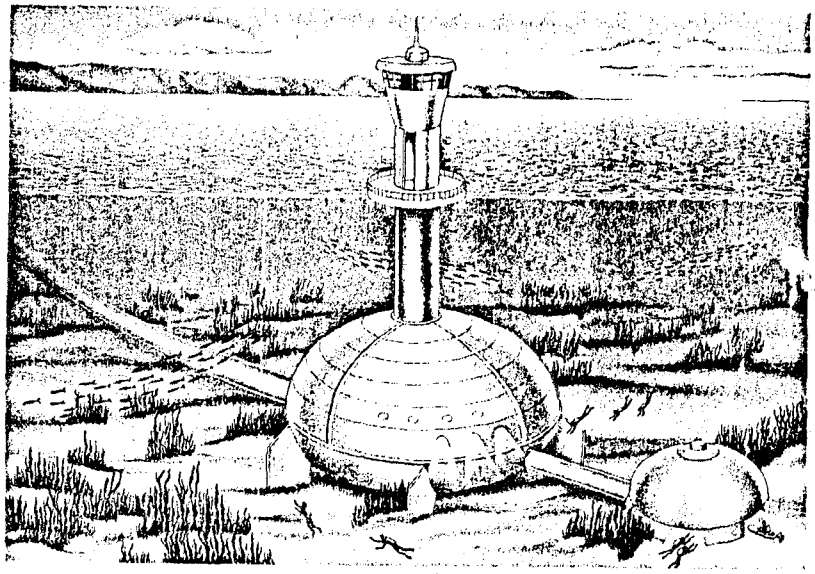
주요건조물의 규모와 기능은 다음 〈표 4〉와 같다.

대체로 해중목장의 전체공기는 조사, 계획단계를 포함하여 약 8년, 공사비는 개략적으로 약 4천5백억원 정도로 본다. ㉮

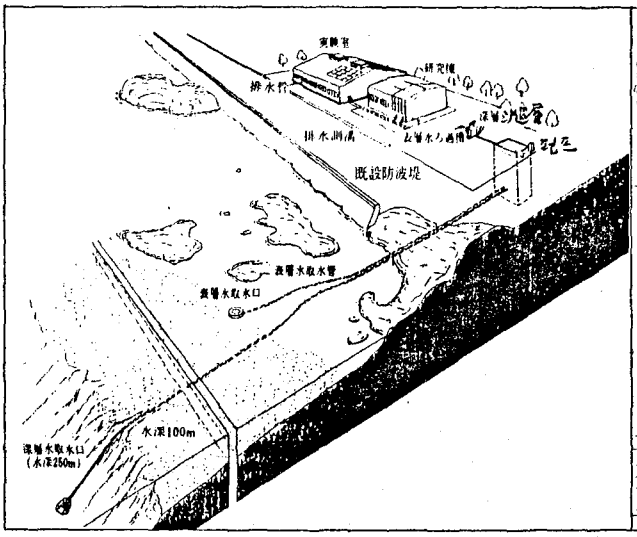
〈표 4〉 주요건조물의 규모와 기능

시 설		규 모	주 요 기 능
충합시설	인 공 해 저	착저형, 부유형 공히 연면적 1,000,000㎡	· 착저형, 부유형에 의한 조장(藻場) 조성 · 해양공간이용확대
	인 공 어 초	착저형 5,000기(基) 중층 · 양상형 20기	· 어장조성, 유도체류(滯留) · 고기의 위집(蝟輯)효과
	인공해저제방	수심 20~30m 연장 15,000m	· 정온해역화 · 해수교환 · 용승류(湧昇流)의 발생
	심층수리용시설	1 식(式)	· 종묘생산의 효율화 · 영양염의 이용
	어군제어시스템	100㎢ 해역 주위 30㎞ 다목적 이용	· 해양생물의 가어화(家魚化) · 다목적이용에 의한 정보망 모니터링
관리시설	앞 바 다 기 지	수심 50m 직경 30m	· 총합관리, 연구소로서의 기지 모니터링

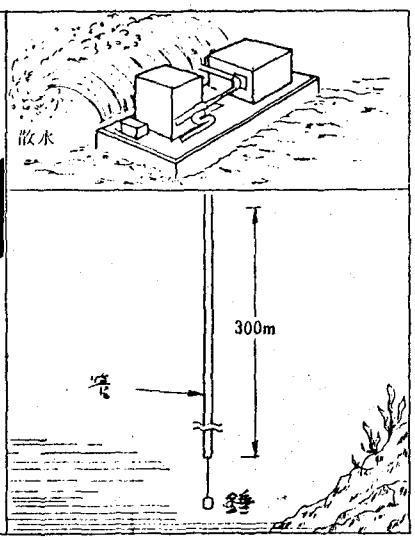
충합(沖合) : 연안에서 보이는 앞바다



▲앞바다의 基地의 한例

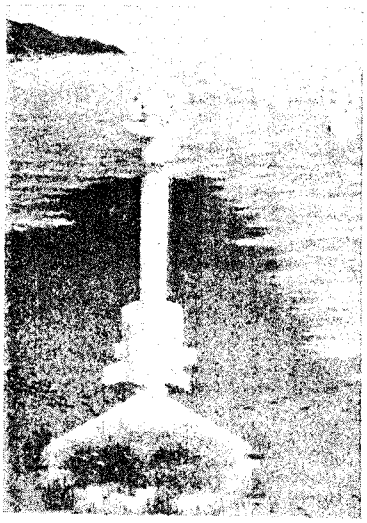


▲陸上型深層水利用施設

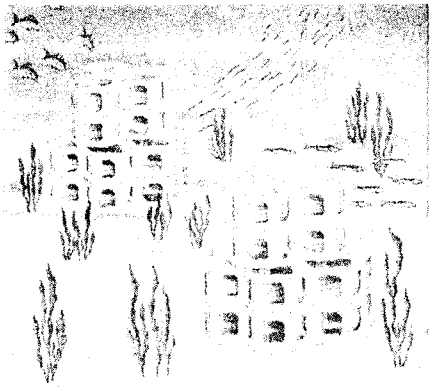


▲洋上型深層水利用施設

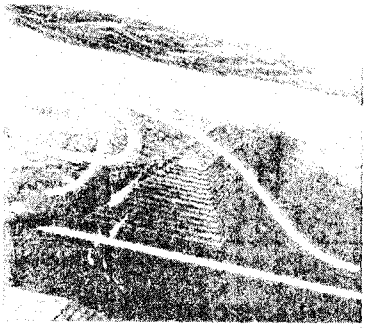
◆ 해중목장에 설치된 건조물 형태 ◆



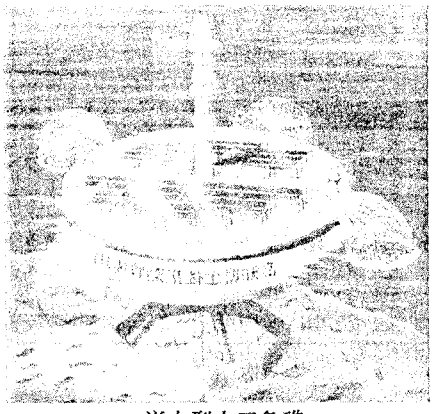
採光型人工海底



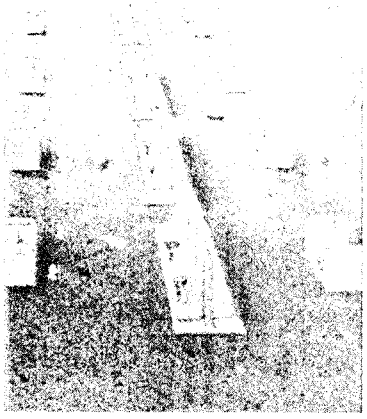
着底型人工魚礁



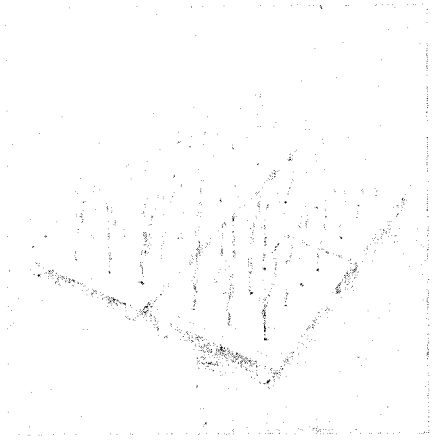
山脈型人工海底提防



洋上型人工魚礁



衝立型人工海底提防



着底型人工海底