

발 간 등 록 번 호

11-1520671-000021-01

과학원 간행물 번호

TR-2007-RE-007

통영해역 바다 목장화 연구개발
용역사업 종합보고서
- 인공어초 조사 -

Studies on the Development of Marine
Ranching Program in Tongyeong, Korea
Survey of artificial reef

1999~2007



국립수산과학원
남해수산연구소

요 약 문

본 연구는 통영바다목장 개발 관련 인공어초에 관한 연구로서 1999년부터 2007년까지 약 9년간 수행하였다. 동 연구기간 동안에 수행된 주요 연구는 1999년의 경우 조피블락용 어초인 상자형콘크리트어초의 개발 및 설계도 작성, 2000년에는 상자형콘크리트어초의 제작에 필요한 각 공정별 최적 시공방법 고안, 2001년에는 조피블락의 성장 단계별 생태습성에 적합한 상자형콘크리트어초의 시설 배치, 2002년에는 바다목장화 조성지에 시설된 상자형콘크리트어초의 어획 생산성 조사 및 동 어초의 적정어장 조성규모, 2003년에는 통영해역바다목장화 조성지 주변에 시설된 어초 위치 파악 및 인공어초 어장의 기능 향상 요인구명, 2004년에는 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치 확인, 매물특성조사 및 수심 40 m 이상의 지역에 어초시설을 위한 탄성과 조사, 2005년에는 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초(다기능고층어초)의 구조형태 및 동 어초의 어초 설계, 2006년에는 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 다기능고층어초의 적지분석 및 동 어초의 제작공법, 2007년에는 통영바다목장 내의 수심 40 m 이심에 시설된 다기능고층어초의 효과연구 및 바다목장 조성을 위한 인공어초어장조성 기술지침서 작성 등이다.

조피블락용 어초인 상자형콘크리트어초의 개발은 조피블락의 생태 습성 및 바다목장화 조성 예정지의 지형학적인 요인을 기초로 하였다. 또한 개발 어초의 실 해역에 배치는 조성 예정지의 환경조건, 조피블락의 이동 등 생태 습성, 어선척수 및 이용어법 등을 고려하여 결정하였다. 상자형콘크리트어초의 최적 시공은 콘크리트의 양생 및 거푸집의 탈형의 용이성, 시설시 오차감소에 중점을 두었다. 2002년의 조사에서 바다목장 조성지에 시설된 상자형콘크리트어초의 어획 생산성은 년 3회에 걸쳐 삼중자망과 잠수관찰에 의해 각각 조사하였으며, 인공어초에 의한 통영해역 바다 목장의 적정어장 조성규모 산정은 기존 어초에서의 어획생산성 자료를 토대로 기대어획량에 대한 필요 어초어장규모를 구하여 제시하였다. 2003년도의 기존어초 시설지에 대한 조사는 어초의 시설량, 시설 개소, 시설위치, 및 어초종류, 그리고 어초어장으로서의 기능에 대하여 분석하였다. 동 조사 중 어초의 시설량, 시설 개소, 시설위치 및 어초종류에 대해서는 Side Scan Sonar와 잠수조사, 그리고 어초어장으로서의 기능에 대한 조사는 어획조사와 잠수관찰을 통해 각각 실시하였다. 2004년도의 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매물특성조사는 Side Scan Sonar를 이용하였고, 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상인 지역의 어초 시설을 위한 탄성과 조사는 Site A(34°46.767', 128°22.167', 34°46.000', 128°23.133'), Site B(34°47.900', 128°20.550', 34°46.000', 128°21.667'), Site C(34°45.967', 128°21.917', 34°45.217', 128°22.917'), Site D(34°47.783', 128°21.047', 34°47.083',

128°22.047') 등 4개 지역이며, 동 조사 지역에 대한 시설적지는 저질의 조성, 저질의 전 단강도 및 지층탐사의 결과로부터 평가하였다. 다기능고층어초의 설계를 위해 고려한 항목은 물리적, 지형학적, 생물학적, 공학적 조건 등 설계요인과 구조형태 및 배치 형태 등 3항목이다. 물리적, 지형학적 조건에서는 조류, 저층지형형상, 생물학적 조건에서는 어초에서 각기 다르게 반응하는 조피블락, 참돔, 방어, 삼치 등의 어도, 공학적 조건에서는 바다목장 조성지 내에 시설된 기존어초의 공극을 등과 같은 구조해석 등을 수행하였다. 다기능고층어초의 구조형상은 조피블락, 참돔, 방어, 삼치 등의 행동특성과 저질 조건 등을 고려하여 설계하였으며, 동 어초의 배치형태는 해양환경조건, 대상어종의 생태습성, 바다목장 조성지 내의 어선 수, 어로 방법 등을 고려하여 결정하였다. 2007년도에 다기능고층어초의 효과평가는 잠수 및 어획조사를 통해 실시하였으며, 동 자료를 토대로 현 시점에서 비용편익분석을 실시하였다. 이와 함께 다기능고층어초의 생산성 분석기법을 제시하였고, 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서는 통영바다목장 수행 과정에서 얻어진 경험을 바탕으로 작성하였다.

조피블락용 어초로 상자형콘크리트 어초(3×3×3 m)를 개발하였으며, 동 어초는 조피블락이 좋아하는 음영을 많이 제공해주는 면구조와 상대적으로 시각자극을 많이 유발시키는 테구조로 조합하여 설계하였다. 바다목장 조성지 내에 시설할 상자형콘크리트어초는 예산 등을 감안하여 시설규모를 어초군(魚礁群)에 해당하는 2,700 垧 m² 정도로 하였고, 어초군은 4개의 단위어초(單位魚礁)로 구성되며, 단위어초간의 거리는 약 800 m로 하였다. 각 단위어초의 배열은 1단 배열로 각 어초간의 거리는 약 20 m 정도를 유지토록 하였다. 2001년까지 통영해역 바다 목장 조성지 내에 시설된 어초량은 713 ha이며, 상자형콘크리트어초의 순어획생산성(상자형콘크리트어초의 어획량에서 일반어장의 어획량을 빼 값)은 폭당 2.6 kg이었고, 어획어종은 20종이었다. 이 값을 이용하여 통영바다목장 적정규모를 산정하면, 250톤의 어획량을 올리기 위해서는 약 2,448 ha의 어초면적이 필요한 것으로 나타났다. 2002년도까지 통영바다목장 조성지에 내에 시설된 어초의 장소는 29개소이며, 시설규모는 752 ha이다. 시설어초 종류는 사각형어초, 반구형어초, 강제어초 등 3종류이며, 시설 장소 중 20개소는 패·조류용 어초 시설지, 그리고 9개소는 어류용 어초 시설지이다. 이들 조사 장소 중 1978년, 1987년 그리고 1998년에 시설된 3곳에 대하여 기능조사를 실시하였으며, 조사 결과 이들 어초어장에 조피블락과 쥐노래미가 위집합이 관찰되었고, 삼중자망에 의한 폭당 어획량도 947~4,463g의 범위였다. 2003년까지 바다목장 조성지 20 km² 내에 시설된 연구용 어초는 재질별로는 강제어초가 10종 콘크리트어초가 6종, 폴리프로필렌 어초가 2종, 목재 1종, 기타 6종 등 모두 25종으로 확인되었다. 한편, 통영바다목장 조성지에 시설된 연구용 어초 시설량은 사각형어초 (2×2×2 m)를 제외하면 329개이며, 안정된 상태로 시설되어 있었다. 2004년도에 통영바다목장내의 수심 40 m 이상인 시설 예정지역에 대해 적지조사를 실시한 결과, Site A에서 전단응력은 1.28~12.09

kPa의 범위로 나타났으며, Site B는 1.28~5.47 kPa, Site C지역 1.28~4.58 kPa, Site D 지역은 1.28~1.71 kPa이었다. 다기능고층어초의 설계는 2005년도에 실시하였으며, 동 어초는 조피볼락, 참돔, 방어, 삼치 등의 생물학적 요구조건에 적합하도록 하였고, 그의 크기는 30×30×30 m이며, 3부분으로 구성된다. 저면에서부터 10 m에 이르는 저층부는 조피볼락 등 면구조를 선호하는 어종에 적합하도록 설계하였고, 10~20 m의 중간부분은 참돔 등 테구조를 좋아하는 어종에 적합하도록 설계하였다. 한편, 20~30 m의 윗부분은 삼치, 방어 등 흐름자극에 반응하는 어종에 적합하도록 설계하였으며, 지붕부분에 철판을 부착하였다. 2006년 통영바다목장지역 내에 다기능고층어초를 시설할 지역(Site B)에 대한 적지조사 결과, 시설예정지의 최강유속은 0.8 kn이며, 저질은 니질로 구성되어 있다. 동 지역의 탄성파의 두께는 10~30 m이며, 바다 저면에서 80 cm 까지의 전단강도 값은 1.28~5.47 kpa이다. 그러나 실제로 제작된 어초는 바다목장 내의 수심 등을 고려하여 15×15×15 m의 크기로 하였기 때문에 어초의 자중이 당초의 설계된 30×30×30 m의 것보다 가벼운 약 58톤으로 단위면적당 하중이 크지 않아 침하의 우려는 상대적으로 적을 것으로 판단된다. 동 어초의 적정시공방법으로는 본체부를 각 3등분하여 저층, 중층, 상층부로 나누워 부분 제작 후 크레인으로 거치하여 본체를 용접하는 방법이다. 시공법과 관련해서는 제작장에서 바지선까지의 이동은 크레인으로 하고, 시설지에서의 어초거치는 충격하중에 의한 원형흡관 등이 본체로부터의 이탈되지 않도록 시설하는 방법과 어초의 저면에 어초의 자중에 견딜 수 있는 부력재를 부착하고, 크레인을 이용하여 바다에 띄운 후 예인선을 이용하여 시설지까지 운반하여 시설하는 방법도 고려해 볼 필요가 있다. 2006. 11월부터 2007년 4월까지 다기능고층어초에서 어획된 어종은 조피볼락, 참돔, 말쥐치, 아귀, 문치가자미 등 17종이었고, 삼중자망에 의한 폭당 어획량은 4.6 kg이었으며, 주요 어획 종은 조피볼락과 참돔으로 이들 어종이 전체 어획량의 52.4%를 차지하였다. 다기능고층에서의 연간증산량(어획량)을 구하면, 1,452 kg이 되며, 금액으로 환산하면 연간 14,521,800원이 된다. 이들 결과를 이용하여 비용대비효과를 산정한 결과, 사업효과는 1.41로 나타나 다기능고층어초의 투자효과가 비교적 높은 것으로 추정되었다. 바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서는 인공어초의 시설 및 관리 지침, 강제어초 제작 지침, 인공어초 비용편익분석 지침에 대해 작성하였다.

통영해역 바다 목장화 연구개발 용역사업 보고서

- 인공어초에 의한 어장 조성 모델개발

Studies on the Development of Marine
Ranching Program in Tong-yong, Korea

- Development of new fishing ground model
by artificial reef

1999. 12



해양수산부
국립수산진흥원

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 『'99 통영해역의 바다 목장 연구개발 용역 사업 보고서』
중 “인공어초에 의한 어장 조성 모델개발 연구”의 연차 보고서로서
제출합니다.

1999. 12

주관 연구기관 : 한국해양연구소

총괄 연구 책임자 : 김종만

세부과제 책임자 : 김창길(인공어초에 의한 어장 조성 모델개발 연구)

협동연구기관 : 국립수산진흥원

연구원

국립수산진흥원 : 김창길, 정의철, 김재오, 손팔원, 박성욱, 김호상, 김
태호, 배봉성, 손호선, 정춘길, 주재욱(세일종합기술
공사)

요 약 문

본 연구에서는 통영해역 바다목장화 조성 예정지에 대한 적지조사, 통영해역 바다목장화 주대상 어종인 조피볼락용 어초 개발, 그리고 개발된 조피볼락용 어초의 적정 배치 형태를 각각 구명하였다.

통영해역 바다목장화 조성 예정지의 적지 선정은 潮流, 저질, 경사도 등 물리 및 지형학적요인, 통영해역에서 주로 어획되고 있는 어종들의 어도 등 생물적 요인, 어획량 및 이용어법 등 사회, 경제적 요인에 의해 결정하였다. 조피볼락용 어초의 개발은 조피볼락의 생태 습성 및 바다목장화 조성 예정지의 지형학적인 요인을 기초로 하였다. 또한 개발 어초의 실 해역에 배치는 조성 예정지의 해양학적 조건, 조피볼락의 이동 등 생태 습성, 어선척수 및 이용어법 등을 고려하여 결정하였다.

조사결과, 통영해역 바다목장화 조성 적지로는 곤리도 수역이 좋을 것으로 판단되었다. 그리고 조피볼락용 어초로 상자형어초(3×3×3 m)를 개발하였다. 상자형어초는 조피볼락이 좋아하는 음영을 많이 제공해주는 면구조와 상대적으로 시각자극을 많이 유발시키는 테구조로 조합하여 설계된 것이 특징이다. 통영해역 바다목장화 조성 면적은 9 km² 정도며, 용적으로는 魚礁群에 해당하는 16,000 空 m³ 정도이다. 어초군은 4개의 단위어초로 구성되며, 단위어초간의 거리는 약 1 km로 하였다. 각 단위어초의 배열은 1단 배열로 각 어초간의 거리는 약 4 m 정도를 유지토록 하였다. 각 단위어초에는 높이가 서로 다른 상자형어초와 사각어초를 각각 조합하여 시설함으로써 이들 어초의 높이의 차이를 이용하여 보다 많은 유체자극을 유발시킬 수 있도록 하였다.

Summary

This study is composed of three subsubjects; site selection for marine ranching creation in Tongyeong, development of new artificial reef for enhancement of black rockfish (*sebastes schlegeli*) and decision of deployment pattern of developed artificial reef.

Site selection for marine ranching creation in Tongyeong was made by three factors; physical and geological conditions like water current and local topography, biological conditions like fish path of dominant fish species caught in Tongyeong sea area, and economical and social conditions like fish catch and fishing methods used in the same area. Development of new artificial reef was made on the basis of both behavior characteristics of black rockfish, and topographic conditions like bottom sediment. Also deployment pattern of developed artificial reef was decided by oceanographic conditions, characteristics responses of black rockfish, the number of fishing boats and fishing methods used in Tongyeong sea area.

The result shows that area around Konri island is a suitable place for marine ranching creation in Tongyeong. Also, as reef to meet the target species, black rockfish, of marine ranching in Tongyeong, Box reef (3×3×3 m) was developed. It was designed for large vertical surface structures with ample shadow and frame structures with various disturbance of current. The size of marine ranching creation in Tongyeong will be at least 9 km², the bulk volume of actual reef be on the order of 16,000 m³, as a reef group. Reef group is composed of four reef sets, the size of reef set is about 4,000 m³ in bulk volume. And in consideration of perceiving distance of fish to the presence of reef, reef set in reef group will be installed at the range of 1 km. Deployment of each reef set will be made by the one layer arrangement which each reef is installed at the range of about four meters. In order to generate more and more fluid stimulation by different height of reefs, Dice reef (2×2×2 m) will be used with Box reef. Also, the amount of Box reef in a reef set will be 100 (2,700 m³) units, and Dice reef 162 (1,296 m³) units, respectively.

List of Tables

Table 1. Response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyeong coastal area from February to December in 1997	11
Table 2. Response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyeong fish market from February to August in 1997	14
Table 3. The bulk volume (m ³) of artificial reef installed in Tongyeong coastal area during 1971-1997	35

List of Figures

Fig. 1. Flow chart to creation of marine ranching by artificial reefs.	4
Fig. 2. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.	7
Fig. 3. Water depth contour around marine ranching in Tongyeong coastal area.	9
Fig. 4. Bottom sediment facies around marine ranching in Tongyeong coastal area. ...	10
Fig. 5. Diagram of response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyeong coastal area from February to December in 1997.	17
Fig. 6. Diagram response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyeong fish market from February to August in 1997.	17
Fig. 7. Migration of red seabream (<i>pagrus major</i>) in Tongyeong coastal area.	24
Fig. 8. Box reef developed for enhancement of rockfish resources in Tongyeong marine ranching area.	27
Fig. 9. Sectional drawing of Box reef.	27
Fig. 10. Sectional drawing of Box reef. Top piles are attached to the bottom sides of reef.	28
Fig. 11. Sectional drawing of Box reef.	29
Fig. 12. Sectional drawing of Box reef. The upper shows its vertical view, and the lower indicates vertical view of top pile.	30
Fig. 13. Sectional drawing of Box reef.	30
Fig. 14. Deployment of artificial reef complex. The upper shows plan view, and the lower indicates plan view and overall deployment of groups in the complex. Rectangle in the upper figure give set reef with about 4,000 m ³	34
Fig. 15. Deployment of artificial reef complex.	35
Fig. 16. Artificial reefs installed in Tongyeong coastal area during 1971-1997.	36

Fig. 17. Diagram of the bulk volume (m³) of artificial reef installed in Tongyeong coastal area during 1971-1997. 36

목 차

요약문	i
Summary	ii
표 목차	iii
그림 목차	iii
I. 서 론	1
1. 통영해역 바다목장화 추진배경	1
2. 바다목장화 접근 방법	1
3. 통영해역 바다목장화 도입 기술	2
4. 사업 추진 방향	2
II. 조사 개요 및 방법	3
1. 조사 개요	3
2. 조사 방법	4
가. 어초시설 예정해역의 특성조사	4
(1) 조사위치	4
(2) 수심 및 경사도	5
(3) 저질	5
(4) 통영해역 출현 어종의 어초성 조사	5
(5) 조피불락 및 참돔의 서식생태	6
나. 조피불락용 어초 개발 및 설계도 작성	6
(1) 조피불락 어초개발에 필요한 설계조건	6
(2) 개발된 조피불락 어초의 구조적 특징	7
(3) 설계도 작성	7
다. 어초 배치형태	7
(1) 어초 규모 및 배치형태	7
(2) 기존 어초 시설량 조사	7
III. 결 과	8
1. 어초시설 예정해역의 특성조사	8
가. 수심 및 경사도	8
나. 저질	8
다. 바다목장화 조성 적지	9

라. 통영해역 출현 어종의 어초성 조사	9
마. 조피불락 및 참돔의 서식생태	10
(1) 조피 불락의 생태	17
(2) 불락의 생태	18
(3) 참돔의 생태	20
(4) 참돔의 어장도(회유도)	22
2. 조피불락용 어초 개발 및 설계도 작성	23
가. 어초 개발에 필요한 설계조건	23
나. 개발어초의 구조적 특성	25
(1) 개발어초의 상세 설명	25
(2) 개발어초의 기술적인 파급효과	26
다. 설계도 작성	26
3. 어초 시설의 배치 형태	31
가. 어초 배치에 대한 전략	31
나. 조성 규모	31
다. 어초 배치	32
라. 기존 어초의 시설 상황	33
IV. 결 론	37
1. 어초 시설 예정 해역의 특성조사	37
2. 조피불락용 어초 개발 및 설계도 작성	37
3. 어초 시설의 배치 형태	37

참고문헌

I. 서론

1. 통영해역 바다목장화 추진배경

통영해역은 주위에 크고 작은 섬들로 둘러싸여 있고, 북쪽에는 고성만이 위치해 있어 옛날부터 동 해역은 영양염이 풍부하여 기초생산력이 높고, 불락, 참돔 등 각종 어족자원이 많았다. 또한, 어업 및 양식업이 발달하여 타 해역에 비해 어업인의 소득이 높은 곳이었다.

그러나 최근 들어 어로장비 현대화로 인한 어족자원의 남획, 육지로부터 산업 오·폐수 유입에 의한 오염원의 확산 등으로 해역의 기초 생산력은 급격히 감소하였다. 이로 인해 불락, 참돔 등의 어족자원량도 크게 줄어들었다. 또한 양식어업도 시설 적지 부족 등으로 더 이상의 확대는 어려운 실정이다. 이와 같은 현상은 비단 통영해역 뿐만이 아니고 다른 해역에 있어서도 널리 만연되어 있어 이대로 방치할 경우, 우리나라의 어업은 심각한 위기에 직면할 위험에 처해 있다.

따라서 정부에서는 이를 타개하기 위해 우리나라 해역에서의 어업자원배양과 관리를 체계적으로 수행하여 우리나라 연안해역의 생산력을 지속적으로 향상시킬 수 있는 바다목장화 사업을 추진하게 되었다.

2. 바다목장화 접근 방법

바다목장화 조성의 목적은 바다의 생산력을 충분히 이용하거나 그 해역의 생산기구를 재편함으로써 어장을 종합화하고 생산의 효율화를 도모하여 대상종의 생산력을 향상시키는 데 있다. 유용종의 생산증강을 도모하기 위해서는 먼저 그 해역에 있어서 수용력이 문제가 되며, 원칙적으로는 바다의 수용력은 시간적 측면에서 보면 변동하는 것이지만, 그때 당시의 바다의 물리적 환경과 생물간의 경합에 의해서 포화상태로 되는 과정에서 균형을 유지하려고 한다.

따라서 그 해역에서 특정의 종을 증가시켜 새로운 바다의 생물환경을 조성하기 위해서는 인위적인 수용조건의 개량이 필요하다. 그의 대표적인 방법의 하나로는 어떤 해역에서의 시간적, 공간적 어업생산의 미이용 부분을 유효하게 이용하는 것이다. 그의 주요한 접근 방법으로는 대상해역을 적극적(직접적)으로 이용하는 방법인 자원첨가 이용형과 소극적(간접적)이용방법인 잠재자원 이용형을 들 수 있다. 전자는 미이용자원을 증강하고자 할 경우에는 현재의 연쇄계의 수용력안에서 자원을 투입(종묘방류)한다든지, 수용력의 일부를 공간적으로 잘라 먹이를 투입하여 양식종을 육성(양식)하는 방법을 말한다. 한편, 후자는 현행 연쇄계를 인위적 수단에 의해서 확대한다든지, 혹은 기초생산력을 증강함으로써 간접적으로 자원의 증가를 도모하는 방법을 말한다. 그러나 어떤 방법으로 대상해역을

개발하여 이용할 것이냐는 해역마다 특성이 다르기 때문에 일률적으로 적용하기는 어려우며, 대상해역을 잘 파악하여 그 해역의 특성에 적합한 어장조성개발 방법을 도입해야 한다.

3. 통영해역 바다목장화 도입 기술

통영해역은 서식 어종이 풍부하여 一本釣, 연승, 통발, 유자망 등 다양한 어법이 행하여지고 있으며, 삼중자망, 소형기선저인망 등에 의한 불법 어업도 빈번한 곳이다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이 육지로부터 각종 오염물질이 유입되어 오염으로 인해 해역의 생산력이 크게 저하되어 있다.

이러한 어업실정을 감안할 때 통영해역 바다목장화의 조성에 필요한 기술로는 자원 잠재력 이용형에 자원 첨가 이용형을 가미한 복합형이 적합하다고 판단된다. 즉, 해역의 기초 생산력을 증가시켜 해역내의 서식 어종의 재생산력의 증강을 도모하는 자원 잠재력 이용형에 해역에 서식하고 있는 어종을 대상으로 종묘를 인공적으로 생산하여 방류함으로써 보다 짧은 기간에 자원을 증대시킬 수 있는 자원 첨가 이용형을 가미한 복합형 기술이다. 전자는 통영해역에 출현하는 어종에 대해 서식 생태 습성을 파악하여 이들 어종의 서식에 필요한 먹이 생물 증대, 산란장 및 자치어 보육장 조성, 어획강도 저하 등을 위해 현행 연쇄계를 인위적 수단으로 개선시켜 산란에서 미성어 및 성어에 이르기까지 자원의 재생산력을 높이는 기술이다. 또한 후자는 통영해역에 서식하는 어종으로서 최근에 급격히 자원량이 감소한 어종을 선택하여 인공적으로 생산한 종묘를 방류하여 짧은 기간 내에 자원을 증강시키는 기술이다. 종묘방류 어종과 관련해서는 양식어종으로 널리 이용되는 비교적 고급 어종인 조피볼락을 주 대상 어종으로 선정하였다.

4. 사업 추진 방향

통영해역 바다목장화 사업은 자원관리분야, 자원증대분야, 인공어초에 의한 어장조성 분야 등 크게 3개의 분야로 구성되며, 이 중에서 가장 핵심적인 분야는 인공어초에 의한 어장조성분야인데, 이는 앞서 언급한 통영해역 바다목장화 사업에 필요한 도입기술도 인공어초를 이용하여 달성될 수 있기 때문이다. 즉, 인공어초를 시설함으로써 와류가 발생하여 저층의 풍부한 영양염이 표층까지 전달되고, 이로 인해 먹이 생물의 발생이 풍부하게 되며, 조류의 흐름이 변화되어 오염의 부하량도 경감된다. 또한 서식어종의 생태 습성을 파악하여 수심에 따라 적절히 인공어초를 시설해줌으로써 산란장 및 자치어의 보육장, 성어의 성육장의 기능 등을 강화시켜 주게 된다. 이와 함께 불법어업이 성행한 곳에 어초를 시설해 줌으로써 불법어업을 근절함은 물론 남획을 방지함으로써 서식어종의 재생산력을 향상시켜 자원 증대를 이룰 수 있는 것이다.

특히, 자원첨가 이용형 기술과 관련해서는 주 대상 어종인 조피볼락의 치어가 방류한

후에 높은 생산율을 유지할 수 있도록 하기 위해 조피볼락의 생태 습성에 적합한 어초를 개발하여 어초어장을 조성하기로 하였다. 인공어초에 의한 통영해역 바다목장화 조성기술의 적용은 1999년부터 2000년까지 2년간에 걸쳐 수행되고 있으며, 제1차 년도인 1999년에는 통영해역 바다목장화 조성지의 사전조사, 주 대상 어종인 조피볼락용 어초개발, 개발어초의 적정 배치형태 등을 구명하기로 하였다. 또한 제2차 년도인 2000년에는 제1차년도에서 얻어진 연구결과를 토대로 조피볼락 및 참돔의 성장 단계별 어초어장의 조성 및 조성어장의 효과를 각각 구명하기로 하였다.

II. 조사 개요 및 방법

1. 조사 개요

통영해역 바다목장화 사업 중 인공어초에 의한 어장조성모델 개발 과제를 수행함에 있어 사업추진에 필요한 자료들은 기존자료와 통영해역 바다목장화 사업중 다른 세부 과제에서 수행한 연구 결과를 토대로 하였으며, 부족한 자료들은 실제 현장조사를 통해 보강하였다.

인공어초에 의한 어장조성 모델개발 과정은 크게 3단계 조사로 나누어 수행하였으며, 주요 단계별 조사 항목으로는 개발방식의 결정을 위한 기초조사, 구체적인 사업실시 계획을 위한 설계조사, 사업실시 후 조성계획에 대한 평가를 위한 효과조사로 구성된다. Fig. 1은 이들 조사 분야에 대한 구체적인 항목을 표시한 것이다.

기초조사 단계에서는 해역의 특성에 기초한 어장 평가 및 생물 자원량을 파악하여 통영해역 바다목장화 개발에 필요한 개발 적지에 대한 해석을 하였다. 그리고 설계조사 단계에서는 기초조사에서 얻어진 결과를 토대로 어초 설계에 필요로 하는 각종 요인 즉 출현어종, 저질, 수심, 경사도, 유향, 조피볼락과 참돔의 어장도 등을 조사하고, 어초 시설지의 특성을 파악한 후 통영해역에 적합한 어초를 설계하였다. 또한 설계된 어초를 얼마(량)만큼, 어떤 형태로 배치할지를 구명하였다. 효과조사는 설계조사 자료를 토대로 하여 조성된 어초어장에 대해 집어, 배양 및 경제적 효과를 조사하여 얻어진 결과에 대하여 본래 계획대로 수행되었는지를 분석하는 것이다. 이 과정에서 분석된 결과들을 금후 타해역에 바다목장화를 조성할 경우 적용될 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 3단계 조사를 모두 행하지 않고 설계조사만 행하였으며, 기초조사는 통영해역 바다목장화 과제중의 세부과제인 자원증대기술 및 이용관리 과제에서 수행한 결과를 이용했다. 그리고 효과조사는 어초 시설 후인 2000년에 실시할 예정으로 있기 때문에 금회 연구기간 중에는 제외하였다.

통영해역 바다목장화 조성 예정 지역은 곤리도를 중심으로 한 약 9 km²이다(Fig. 2). 조사위치는 부도를 연계한 장소(34°46' 14", 128°20' 56", 34°44' 38", 128°22' 51") 와 곤리도를 연계한 장소(34°46' 49", 128°19' 25", 34°44' 11", 128°21' 22") 등 2장소에 대해서 검토하였다.

(2) 수심 및 경사도

분할된 단지선상을 따라 음향 측심기로 연속 관측하여 수심 분포조사를 행하고 시판된 해도와 비교하여 수심도를 작성하였다. 경사도, 일정수심에 의한 등심선을 그려 분석하였다.

(3) 저질

저질은 원칙적으로 기존 자료를 이용하였으며, 기존 자료에 대한 신뢰성을 높이기 위해 현장조사를 병행하였다. 조사 방법에는 현장에서 채취한 저질을 실험실로 가져와 입자들을 일정크기로 분리한 후 질량을 측정하고, 각 크기별로 퇴적 입자의 분포 비율을 이용하여 저질 조성을 구했다.

본 연구에서는 분석된 저질 조성자료를 입도 크기별로 나타내지 않고, 니질과 비니질로 나누어 나타냈다. 그 이유는 니질로 조성된 장소도 해역에 따라서는 좋은 어장을 이루고 있는 곳이 많아 수산생물의 서식 요건이 좋음에도 불구하고, 단지 어초 매몰 요건 하나로 어장조성이 제약받는 것을 피하기 위해서였다.

(4) 통영해역 출현 어종의 어초성 조사

곤리도를 중심으로 한 통영해역에 출현한 어종에 대한 어초성 조사는 자치어와 성어에 대하여 실시하였다. 본 연구에서 이용한 자치어 및 성어에 대한 자료는 기존 자료를 이용한 것으로, 자치어의 경우 1997년 2월부터 12월까지 11개월간 조사된 것이며, 성어는 1997년 2월에서 8월까지 통영 어시장에서 조사된 것이다.

어초성은 어초에 대한 定位의 형태에 의해 3가지 형으로 분류하였다. 여기서 각 형별 특징을 살펴보면, I 형은 어초에 몸의 대부분 혹은 일부분을 접촉시키는 어종, II 형은 몸을 어초에 접촉시키지는 않지만 어초의 저면 및 윗부분의 주변을 유영하는 어종, 그리고 III 형은 어초로부터 떨어진 표·중층수역에 머무르는 어종을 각각 나타낸다. 그러나 동일 형이라도 어초와의 定位 관련 정도는 어종에 따라서, 그리고 동일 어종이라도 발육단계와 계절에 따라 각각 차이가 있기 때문에 자치어에 대한 어초성 분류는 다소 신뢰도가 떨어지지만, 어초어장 조성시 산란초, 자치어 보육초 등의 성장 단계별 혹은 생태 습성별로 각 특성에 적합한 어장조성을 해야 하기 때문에 성어와 함께 분류하여 나타냈다.



Fig. 2. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.

(5) 조피블락 및 참돔의 서식생태

서식생태에 관해서는 실제 통영해역에서 조사 연구된 자료가 없기 때문에 기존 자료를 이용하였다. 이와 함께 동일 어종이라 하더라도 해역이나 계절에 따라 서식생태에 차이가 있기 때문에 기존자료를 보강하고자 통영해역 바다목장화 조성지구인 곤리도 주변 해역에서 조업하는 어업인을 대상으로 현장을 방문하여 청취조사를 실시하였다.

청취조사 대상지역은 곤리도를 중심으로한 통영시 중화동, 연대도, 비진도, 매물도, 연화도, 추도, 화도 등 7개소이며, 연승과 낚시를 이용하여 조업하는 어업인을 대상으로 조사하였다. 조사에 응한 어업인들은 참돔, 감성돔, 블락 등 단일 어종에 대하여 전문적으로 조업하는 어업인들 이었다.

청취조사 항목으로는 산란, 성육, 회유, 이동 및 식성 등의 대상 어종의 생태와 시기별, 장소별 어획위치 등이다. 어장도는 상기 언급한 7개소에서 조사된 자료를 토대로 하여 나타내었다.

나. 조피블락용 어초 개발 및 설계도 작성

(1) 조피블락 어초개발에 필요한 설계조건

조피블락용 어초를 개발함에 있어 개발에 필요한 설계조건, 어초기능과 관련된 어초 구조형태, 그리고 설계도 등에 관한 사항을 고려하였다.

설계조건으로는 통영해역 바다목장화 주 대상어종인 조피블락용 어초를 개발하여 시설코자 어초 설계에 필요한 사항을 정하여 설계도를 작성하였다. 필요한 설계조건으로는 안정성, 기능성, 경제성, 실행성, 이용성 등 6가지를 설정하였다.

(2) 개발된 조피블락 어초의 구조적 특징

개발어초의 구조적 특징은 생물학적 특징과 공학적 특징으로 나누어 기술하였다. 전자는 조피블락의 생태적 특성을 반영한 구조적 형태, 그리고 후자는 매몰, 전도, 시공의 용이성 등에 관한 구조의 특성을 각각 나타낸다. 본 연구에서는 이들의 특징을 설계도와 함께 제시 하면서 기술했다.

(3) 설계도 작성

설계도 작성은 상기 제시된 설계조건에 의거 어초 구조형태를 결정한 후, 설계도를 작성하였다. 그리고 관련 부분도를 그림으로 나타내었다.

다. 어초 배치형태

(1) 어초 규모 및 배치형태

인공어초의 시설에 있어서 높이 및 면적 등의 어초규모, 배치형태 등은 어초어장의 생산성과 관련하여 중요한 요소다. 어초규모를 결정하는데 필요한 요인으로는 이용선박, 척수, 출어일수, 일일 척당 어획량, 기존어초 시설 어장의 어선 수용능력 등이다. 본 연구에서는 이들의 모든 요인을 정확히 조사하는 데는 어려움이 있어, 끈리도를 중심으로 한 통영시 중화동, 연대도, 비진도, 매물도, 연화도, 추도, 화도 등 7개소의 어업인 자료를 기초로 하여 결정하였다.

어초배치는 대상어종의 생태, 수심, 潮流, 魚道, 이용어법 등의 요인에 의해서 결정된다. 본 연구에 있어서는 조피블락의 생태, 시설수심, 潮流는 현장조사 자료와 기존 자료를 이용하였으며, 魚道 및 이용어법은 현장 청취조사 자료를 각각 이용하였다.

(2) 기존 어초 시설량 조사

통영해역 바다목장화 조성해역에 출현하는 조피블락, 참돔, 블락 등 대부분의 어종들은 계절에 따라 接岸 및 離岸回遊를 하기 때문에 연중 동 조성지역에서 서식한다고 볼 수 없다. 또한 성장 단계에 따라서도 서식장소의 차이가 있기 때문에 이들 어종을 대상으로 하기 위해서는 회유도를 조사하여 성장 단계별 생태 습성에 적합한 어초어장(산란초, 보육초, 육성초)을 조성해 주어야 한다. 그러나 성장 단계별 생태 습성을 모두 고려하여 어초어장을 조성할 경우, 막대한 예산이 소요되므로 현실적으로는 사업 수행에 어려움이 있다. 따라서 동 조성지역의 생산효과를 높이기 위해서는 기존어초 시설지와 연계하여 조성하는 것이 바람직하다.

통영해역 바다목장화 조성 예정지의 인근 해역에 시설된 기존 어초에 대한 조사는 한산면과 산양면을 대상으로 사전에 기존 자료를 조사한 후, 실제 현장조사를 통하여 시설 위치를 확인하였다. 조사된 자료는 1971년부터 1997년까지 시설된 것들이며, 어초종류

는 사각형, 잠보형, 반구형 등 3종류이다. 조사된 기존 어초는 시설 지역별로 시설량, 어초종류를 확인한 후, 지도상의 표시는 단지 시설 위치만을 기존 어초의 시설지의 중앙에 표시하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 어초시설 예정해역의 특성조사

가. 수심 및 경사도

조성 예정지 중 부도와 연계된 장소는 수심 26~35 m인 지역이 대부분이나, 곤리도 쪽에 52 m인 곳도 있어 겨울철 조피불락 등의 월동도 기대할 수 있는 곳이다. 한편, 곤리도를 연계한 지역은 수심이 27~33 m 내외로 비교적 경사도가 완만한 곳이다. 본 연구에서는 통영해역 바다 목장화의 조성지 자체만으로도 생산효과는 충분히 올릴 수 있다고 생각되지만, 해역의 생산 기반을 종합적으로 개발하기 위해서는 기존 어초와 연계하여 어장을 조성하는 것이 필요하다고 판단되어 바다목장화를 조성함에 있어 기존 어초와 연계하여 시설코자 곤리도 인근 해역인 매물도, 육지도, 추도를 잇는 내만 해역에 대해서도 수심을 조사하였다.

Fig. 3은 곤리도 인근해역의 수심을 50 m 以淺과 以沈으로 2원화하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 연화도와 연대도, 연화도와 비진도 그리고 매물도 주변해역은 수심 50 m 이심을 나타내고 있다.

나. 저질

바다목장화 조성 예정지 중 부도와 연계된 장소는 암반, 니사질, 사니질 등으로 조성되어 있으나, 곤리도를 연계한 장소는 사니질로 조성되어 있었다. 저질 조성 면에서 고려할 때 부도를 연계한 곳이 목장화 조성 후 효과가 클 것으로 판단된다. 저질조사에 있어서도 바다목장화 효과를 극대화시키기 위해서는 기존 어초와 연계하여 조성하는 것이 바람직하다고 판단되어, 곤리도 인근 해역에 대해서도 저질 조사를 실시하였다. Fig. 4는 곤리도 인근해역의 저질을 니질과 비니질로 2원화하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 연화도와 연대도, 연화도와 비진도 그리고 매물도 주변해역은 주로 니질로 조성된 곳이 많다. 어초의 시설에 대한 매물의 측면에서는 저질이 니질일 경우는 바람직하지 못하나, 장소에 따라서는 니질인 곳도 좋은 어장인 곳이 많다. 따라서 니질인 곳도

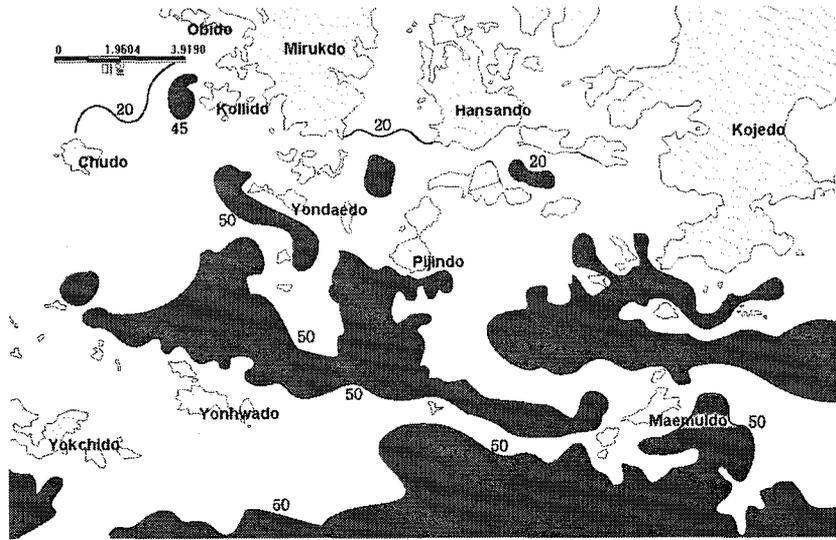


Fig. 3. Water depth contour around marine ranching in Tongyeong coastal area.

어장조성상 중요하다고 판단될 때는 매몰 방지 공법을 개발해야 할 것이다.

다. 바다 목장화 조성 적지

바다목장화 조성지는 부도를 연계한 곳과 곤리도를 연계한 곳을 후보지로 정하여 조사하였다. 이들 장소는 조피볼락, 볼락, 참돔, 감성돔 등의 어류들이 출현하고, 이들 어종을 어획하기 위하여 낚시 및 연승에 의한 조업이 빈번한 곳이다. 장소별 특징을 살펴보면, 부도와 연계한 곳은 주위에 부도를 비롯한 크고 작은 섬들이 있을 뿐만 아니라 인근에 기존 어초가 있어 자원조성 효과가 크게 기대되는 곳이다. 그러나 곤리도를 연계한 곳은 상대적으로 경사도가 완만하고 항로에 위치해 있어 조업에 지장을 받을 우려가 있어 부도를 연계한 장소보다 자원조성 효과가 낮을 것으로 판단된다.

라. 통영해역 출현 어종의 어초성 조사

바다목장화 조성에 의한 수산지원 조성효과를 극대화 시키기 위해서는 어장의 특성을 정확히 파악해야 한다. 여기서 어장의 특성이란 수심, 저질, 조류 등 물리적인 요소와 출현어종, 먹이생물 등 생물적 요소, 이용어법 등 사회적 요소 등이 복합적으로 작용하여 어획효과의 대소로 나타난 현상으로 설명할 수 있다. 이 중에서 가장 중요한 요소로는 출현어종을 들 수 있으며, 이것은 양적 개념과 관련있다고 생각된다. 따라서 어초어장 조성 후 어획효과의 향상은 출현어종의 어초성을 얼마나 정확히 어초의 구조 및 배치형태에 반영하였느냐에 달려있다고 볼 수 있다.

Table 1은 1997년 2월부터 12월까지 곤리도 인근 해역에서 채집된 자치어에 대한 어

초성을 분류한 표이다. 동 해역에서 채집된 자치어는 모두 76종이었으며, 이중 접촉자극이 강한 I형 어류는 조피볼락, 볼락 등 19종이었다. 그 다음은 시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류로 참돔, 감성돔 등 9종이었다. 한편, 1997년 2월부터 8월까지 통영 어시장에서 조사된 어류의 어초성을 보면, 전체 89종 중 I형은 조피볼락, 볼락 등 19종, II형은 참돔, 농어 등 21종, III형은 방어, 고등어 등 8종으로 나타났다(Table 2). 동 조사에서 특이했던 점은 조피볼락의 경우 자치어 및 성어 모두가 관찰되었으나, 참돔의 경우는 자치어는 관찰되지 않았다. 이것은 참돔의 산란이 곤리도 이외의 해역에서 이루어지고 있다는 추측을 강하게 해준다. 따라서 본 연구에서는 통영해역에 출현한 어종이 I형과 II형이 주종이라는 결과에 근거하여 조피볼락 및 참돔 전용 어초를 개발하였다.

마. 조피볼락 및 참돔의 서식생태

바다목장화를 조성함에 있어 대상생물의 생태를 충분히 파악하여 그 종이 갖는 생물학적 특성에 따라 개발방법을 결정하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 통영해역 바다목장화의 주 대상어종인 조피볼락과 통영해역에 과거 많이 어획되었던 참돔을 대상 어종으로 한 어초어장을 조성하기 위하여 이들 어종에 대한 현재까지 얻어진 결과를 정리하였다.

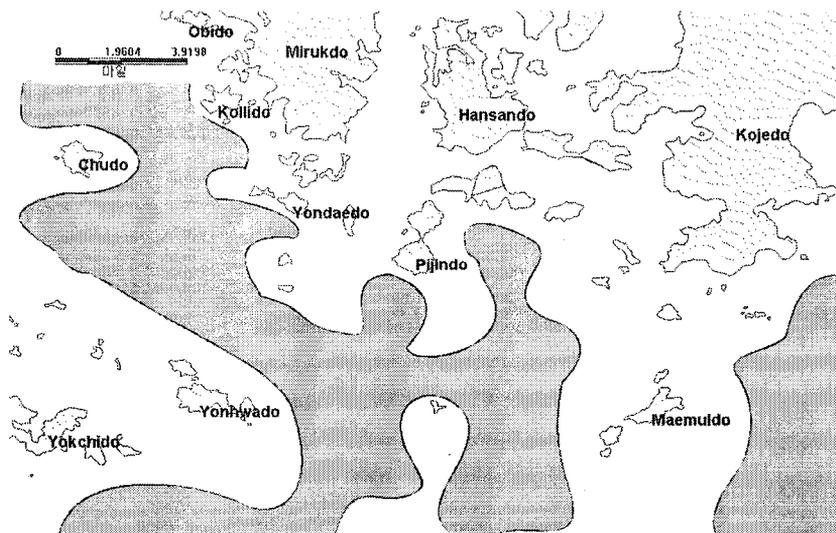


Fig. 4. Bottom sediment facies around marine ranching in Tongyeong coastal area.

Table 1. Response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyeong coastal area from February to December in 1997

Pattern of fish response	Species	Period of observation											
		Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
I	붕장어 <i>Conger myriaster</i>	○	○	○									
	볼락 <i>Sebastes inermis</i>	○	○	○	○								
	개볼락 <i>Sebastes Pachycephalus</i>	○		○									
	조피볼락 <i>Sebastes schlegeli</i>		○		○			○					
	누루시볼락 <i>Sebastes vulpes</i>			○									
	우럭볼락 <i>Sebastes hubbsi</i>								○		○		
	황점볼락 <i>Sebastes Oblongus</i>												
	섬뱅이 <i>Sebastiscus marmoratus</i>				○								
	쥐노래미 <i>Hexagrammos otakii</i>	○	○	○									○
	노래미 <i>Hexagrammos</i>												○
	세줄베도라치 <i>Ernogrammus hexagrammus</i>	○	○	○	○								
	큰줄베도라치 <i>Stichaeopsis epallax</i>			○									
	점베도라치 <i>Pholis Crassispina</i>			○									
	베도라치 <i>Pholis nebulosa</i>		○	○									
	가막베도라치 <i>Enneaptryglus etheostomus</i>							○					
	청베도라치 <i>Parablennius yatabei</i>				○	○		○		○			
	앞동갈베도라치 <i>Omobranchus elegans</i>					○		○					
	두줄베도라치 <i>Petroscirtes breviceps</i>							○	○				
점넙치 <i>Pseudorhombus Pentopthalmus</i>					○		○						
II	달고기 <i>Zeus faber</i>												
	감성돔 <i>Acanthopagrus schlegeli</i>				○	○	○						
	붉돔 <i>Evynnis japonica</i>						○						
	청돔 <i>Sparus sarba</i>					○							
	네줄벤자리 <i>Terapon theraps</i>						○						
	돌돔 <i>Oplegnathus fasciatus</i>						○						
	자리돔 <i>Chromis notatus</i>						○						
	그물코쥐치 <i>Rudrius ercodes</i>						○	○					
쥐치 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>						○							
III	멸치 <i>Engraulis tanakai</i>	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
	전어 <i>Konosirus punctatus</i>					○							

Table 1. continued

Pattern of fish response	Species	Period of observation											
		Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
기타	셋줄멸 <i>Sparatelloides gracilis</i>			○									
	물꽃치 <i>Iso flosmaris</i>							○					○
	전력새날치 <i>Cypselurus heterurus doederleini</i>					○							
	학공치 <i>Hyporhamphus sajori</i>					○							
	큰가시고기 <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	○											
	실고기 <i>Syngnathus schlegeli</i>				○	○		○	○	○			
	살살치 <i>Scorpaena neglecta</i>												
	양태 <i>Platycephalus indicus</i>					○		○					
	알롱회대 <i>Furcina ishikawae</i>	○	○										
	무늬횃대 <i>Furcin oshimae</i>	○	○	○									
	가사꺼정어 <i>Ocynetes maschalis</i>	○											
	돌팍망둑 <i>Pseudoblennius percoides</i>	○	○		○				○		○	○	○
	꼼치 <i>Liparis tanakai</i>	○	○	○									
	볼기우럭 <i>Malakichthys wakiyae</i>								○				
	청보리멸 <i>Sillago japonica</i>							○					
	주둥치 <i>Leiognathus nuchlis</i>							○					
	만새기 <i>Coryphena hippurus</i>												
	육점날개 <i>Ophisthocentrus Zonope</i>			○									
	까니리 <i>Ammodytes personatus</i>	○	○										
	푸령통구멍 <i>Gnathagnus elongatus</i>									○			
	날뚫양태 <i>Repomucenus beniteguri</i>			○	○	○		○	○	○			
	문절망둑 <i>Acanthogobius flavimanus</i>		○	○		○							
	숨이망둑 <i>Apocryptodon punctatus</i>							○					
	꼭저구 <i>Chaenogobius urotaenia</i>							○					
	도화망둑 <i>Cheturichthys hexanema</i>					○							
	댕기망둑 <i>Eutaeniichthys gilli</i>		○										

Table 1. continued

Pattern of fish response	Species	Period of observation											
		Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
기타	사백어 <i>Leucopsarion petersii</i>		○										
	미끈망둑 <i>Luciogobius guttatus</i>				○								
	큰미끈망둑 <i>Luciogobius grandis</i>			○	○	○							
	갈문망둑 <i>Rhinogobius giurinus</i>					○		○					
	밀어 <i>Rhinogobius brunneus</i>							○	○				
	바닥물절 <i>Sagamia geneionema</i>	○											
	풀망둑 <i>Synechogobius hasta</i>		○	○	○								
	개소갱 <i>Taenioides rubicundus</i>				○								
	아작망둥 <i>Tridentiger barbatus</i>					○							
	황줄망둑 <i>Tridentiger nudicervicus</i>							○					
	검정망둑 <i>Tridentiger obscurus</i>		○	○	○	○		○					
	등설망둑 <i>Parioglossus dotui</i>					○		○					
	병어 <i>Pampus argenteus</i>									○			
	빨갱이 <i>Ctenotrypauchen microcephalus</i>							○	○				
	용가자미 <i>Cleisthenes pinetorum</i>				○								
	물가자미 <i>Eopsetta griogrjewi</i>												○
	참가자미 <i>Limanda</i>		○										
	문치가자미 <i>Limanda yokohamae</i>	○	○										
	참서대 <i>Cynoglossus joyneri</i>							○					
	복섬 <i>Takifugu niphobles</i>			○				○					

Table 2. Response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyeong fish market from February to August in 1997

Patterns of fish response	Species	Period of Observation			
		Feb.	May	June	Aug.
I	불기우럭 <i>Malakichthys wakiyae</i>	○			
	우럭볼락 <i>Sebastes hubbsi</i>	○		○	
	넙치 <i>Paralichthys olivaceus</i>	○	○	○	○
	조피볼락 <i>Sebastes thompsoni</i>	○	○	○	○
	노래미 <i>Hexagrammos agrammus</i>	○	○		○
	볼볼락 <i>Sebastes thompsoni</i>	○			○
	붕장어 <i>Conger myriaster</i>	○	○	○	○
	놀래기 <i>Halichoeres tenuispinnis</i>				○
	섬뱅이 <i>Sebasticus marmoratus</i>	○		○	○
	게르치 <i>Scombrops boops</i>	○			
	볼락 <i>Sebastes inermis</i>	○		○	○
	그물베도라치 <i>Dictyosoma burgeri</i>	○			
	베도라치 <i>Pholis neblosa</i>	○		○	
	개볼락 <i>Sebastes pachycephalus pachycephalus</i>		○		
	먹장어 <i>Eptatretus burgeri</i>		○		
	청베도라치 <i>Parablennius yatabei</i>				○
	쥐노래미 <i>Hexagrammos otakii</i>		○	○	
	등가시치 <i>Zoarces gilli</i>			○	
	다금바리 <i>Niphon spinosus</i>			○	
II	홍감팽 <i>Helicolenus hilgendorfi</i>	○			
	옥돔 <i>Branchiostegus japonicus</i>	○	○		
	농어 <i>Lateolabrax japonicus</i>	○	○	○	○
	참돔 <i>Pagrus major</i>	○	○	○	○
	감성돔 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>	○	○	○	○
	망상어 <i>Ditrema temmincki</i>	○		○	○
	황돔 <i>Dentex tumifrons</i>	○	○		
	쥐치 <i>Stephnolepis cirrifer</i>	○		○	○
	달고기 <i>Zeus faber</i>	○	○		
	자리돔 <i>Chromis notata</i>	○			
	범돔 <i>Microcanthus strigatus</i>	○			

Table 2. continued

Patterns of fish response	Species	Period of Observation			
		Feb.	May	June	Aug.
II	보구치 <i>Argyrosomus argentatus</i>	○	○	○	
	수조기 <i>Nibea albiflora</i>		○		
	흑돔 <i>Semicossyphus reticulatus</i>		○	○	
	쌍동가리 <i>Parapercis sexfasciatus</i>	○	○	○	
	용치놀래기 <i>Halichoeres poecilopterus</i>			○	○
	민달고기 <i>Zebiosus nebulosa</i>		○		
	군평선이 <i>Hapalogeny mucronatus</i>	○		○	
	능성어 <i>Epinephelus septemfasciatus</i>			○	
	말쥐치 <i>Thamnaconus fasciatus</i>		○	○	○
	돌돔 <i>Oplegnathus fasciatus</i>			○	○
III	방어 <i>Seriola quinquerdiata</i>	○	○		
	전갱이 <i>Trachurus japonicus</i>		○		○
	전어 <i>Konosirus punctatus</i>	○	○	○	○
	고등어 <i>Scomber japonicus</i>				
	잣방어 <i>Seriola dumerili</i>				
	멸치 <i>Engraulis japonicus</i>				
기타	두툽상어 <i>Syngnathus torazame</i>				
	실고기 <i>Syngnathus schlegelii</i>				
	국매리복 <i>Takifugu vermicularis</i>	○			
	얼룩통구멍 <i>Uranoscopus japonicus</i>	○			
	푸령통구멍 <i>Gnathahnus elongatus</i>	○			
	꼬마달재 <i>Lepidotrigla guentheri</i>	○	○		
	용가자미 <i>Hipoglossoides pinetorum</i>	○			
	망둥어류 <i>Gobiidae sp.</i>	○			
	송어 <i>Mugil cephalus</i>	○	○	○	
	아귀 <i>Lophiomus setigerus</i>	○		○	
	청어 <i>Clupea pallasii</i>	○		○	
	문치가자미 <i>Pleuronectes yokohamae</i>	○			
	살살치 <i>Scorpaena izensis</i>	○	○		
	삼세기 <i>Hemitrioterus villosus</i>	○		○	
	성대 <i>Chelidonichthys spinosus</i>	○		○	
	꼼치 <i>Liparis tanakai</i>				
	꼬치고기 <i>Sphyaena pinguis</i>			○	
덕대 <i>Pampus echinogaster</i>	○		○		
노랑각시서대 <i>Zebrias fasciatus</i>	○				

Table 2. continued

Patterns of fish response	Species	Period of Observation			
		Feb.	May	June	Aug.
기타	상어가오리 <i>Raja porosa</i>	○	○	○	
	찰가자미 <i>Microstomus achne</i>	○			
	바다메기 <i>Arius sp.</i>		○		
	도다리 <i>Pleuronichthys cornutus</i>		○	○	
	그물코쥐치 <i>Rudarius ercodes</i>				○
	갈치 <i>Trichiurus lepturus</i>				○
	학꽂치 <i>Hypohapus sajori</i>				○
	참서대 <i>Cynoglossus joyneri</i>				○
	황아귀 <i>Lophius litlon</i>		○		
	줄복 <i>Takifugu pardalis</i>		○	○	
	붉감펍 <i>Sebastiscus albofasciatus</i>		○		
	양태 <i>Platycephalus indicus</i>		○	○	
	가라지 <i>Decapterus maruadsi</i>		○		
	검복 <i>Takifugu porphyteus</i>			○	
	까치복 <i>Takifugu xanthopterus</i>			○	
	복섬 <i>Takifugu niphobles</i>			○	○
	흰줄망둑 <i>Pterogobius zonoleucus</i>			○	○
	눈볼대 <i>Doederleinia berycoides</i>		○	○	○
	미역치 <i>Hypodytes rubripinnis</i>			○	
	물가자미 <i>Eopsetta grigorjewi</i>		○		
날치 <i>Prognichthys agoo</i>			○		
청보리멸 <i>Sillago japonica</i>	○		○		
가시고기 <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>			○		
노랑촉수 <i>Upeneus bensasi</i>			○		

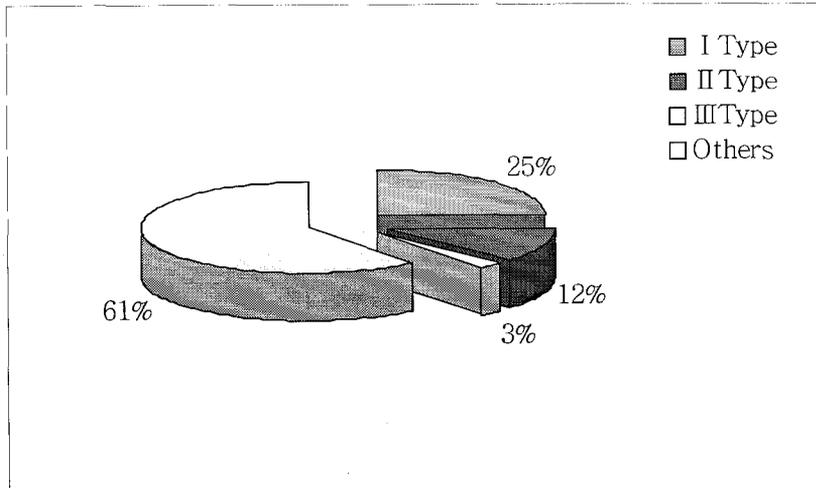


Fig. 5. Diagram of response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyeong coastal area from February to December in 1997.

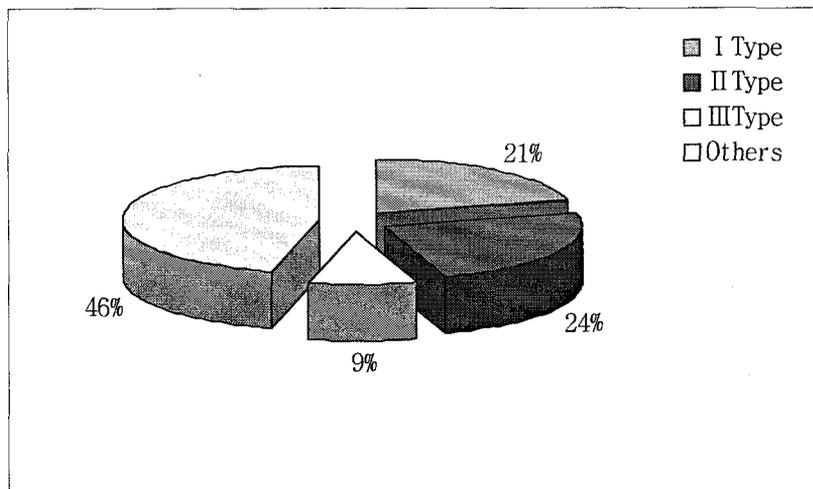


Fig. 6. Diagram response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyeong fish market from February to August in 1997.

(1) 조피 블락의 생태

(가) 분포 특성

시기에 따라 상당히 넓은 범위에 걸쳐 이동하며, 주로 수심 100 m 이천의 암초지역에 서식한다고 알려져 있다.

(나) 산란 생태

수정은 북부 일본해에서는 3월 하순~4월 상순경에 행하여지며, 4월 하순~5월 중순

경에 출산한다. 출산한 직후 크기는 전장 6.3~6.8 mm 정도이다.

(다) 자치어 성육

출산한 자어는 주로 流藻에 붙어 표층생활을 하다가 7~9월이 되면 수심 10 m 以淺의 藻場으로 이동한다. 이때 크기는 4~6 cm 정도 이다. 그리고 11~4월의 겨울철에는 풍랑 등에 의해 연안역이 거칠게 되어 다소 깊은 곳으로 이동한다고 알려져 있다. 다음해 5월경에 1세어는 다시 수심 10 m 以淺의 藻場으로 이동하여 서식한다.

20 cm 이상의 성어는 일본해의 경우, 암초지역에서는 20 m 전 후, 轉石지대에서는 수심 20 m 이상 지역에 많이 분포한다고 알려져 있다. 계절별로 보면, 일본해 新瀉縣에서는 대형 산란군은 60 m 부근의 어초나 암초지역, 그리고 靑森縣에서는 4~6월경에 20 m 부근의 암초부근이나 轉石지역에 밀집한다고 알려져 있다. 8~9월에도 계속해서 암초주변에 머무르며, 10~11월경에는 연안의 먼 바다나 灣 외부로 이동한다. 따라서 크기별, 계절별, 산란행동 등에 따라 深淺이동이 상당히 이루어진다고 알려져 있다.

(라) 인공어초에서 일주행동

인공어초에 조피볼락의 日周행동은 야간에는 저층에 정지하고 있지만, 아침과 저녁에는 섭이를 위해 활발하게 행동한다.

(바) 성장

성장은 일본해의 경우, 만 1년에 전장 11 cm, 2년에는 20 cm, 3년에는 26 cm, 4년에는 29 cm, 5년에는 31 cm로 성장한다고 알려져 있으며, 볼락속 중에서도 가장 성장이 빠른 종이다.

(사) 먹이

발육 단계별 먹이를 보면, 자어기에서는 요각류 등 프랑크톤, 치어기에는 단각류, 열각류, 中蝦, 소형 새우 및 소형 어류, 그 외 갑각류 유생, 유어 초기에는 대형의 中蝦, 소형 새우 및 소형 어류이다. 전장 15 cm 이상으로 되면, 魚食性으로 변한다. 조피볼락의 먹이별 먹이 조성은 소형 갑각류 52%, 게류 30%, 새우류 7%, 오징어류 2%이다. 서식장소에 따라서 먹이 조성도 차이가 있으며, 체장 21 cm의 조피볼락이 14 cm 정도의 쥐노래미를 포식한 예도 있다.

(2) 볼락의 생태

(가) 분포 특성

암초지역이나 수심 10 m 이내의 藻場지역에 주로 서식한다.

(나) 산란 생태

불락은 암수 모두, 일부는 2세어에서도 성숙하나 대부분은 3세어에 성숙한다. 난태생으로 11월 하순에서 12월 초순경에 교미하여 1월 초순부터 2월경에 암초지역에 4~5 mm의 胎仔魚를 출산한다. 암컷이 갖고 있는 卵胎仔魚의 수는 체장 14 cm에서 5천미, 16 cm에서 1만미, 22 cm에서 5만미, 25 cm에서 8만 5천미 정도이다. 난의 크기는 0.7~1.0 mm의 흑회색을 나타낸다. 1회 산란에서 정자의 형성 시기는 10~11월, 12월에 교미하며, 1~2월이 출산 태자 성기로 추정된다. 성비는 교미가 끝날 때까지는 1:1이지만, 교미 후는 암컷이 차지하는 비율이 급격히 증가하여 수컷의 5배에 이르는 경우도 있다. 이 경향은 그 후 자어의 방출 종료시까지 계속된다.

(다) 자치어 성육

출산된 치자어는 겨울철에 藻場에 들어가 서식하게 된다. 봄부터 여름철에 걸쳐 소형 갑각류를 섭식하여 체장 60 mm 정도까지 성장하고, 7월이 되면 藻場의 해조류가 고사함에 따라 성장이 빠른 것부터 藻場을 떠나 만 입구 쪽으로 이동한다. 그러나 일부는 그대로 藻場에 머무르지만, 월동을 한 것은 극히 소량에 불과하다. 다음해 봄 1세어가 된 불락은 藻場의 내·외부에서 서식하지만, 체장 11 cm 이상이 되면 거의가 藻場에서는 서식하지 않는다. 藻場을 떠난 불락은 灣입구의 암초지역에서 서식한다. 10 cm 하의 미성어는 비교적 무리를 지어 서식하나, 성어가 됨에 따라 단독으로 서식하는 경향이 강하며 암초지역에서는 수십미, 轉石에서는 단독으로 분포한다.

(라) 성장

연안 먼 바다에서 잘 발육한 자어가 암컷의 어미로부터 수중에 방출되어 부유생활에 들어가지만, 전장 4~5 mm에서 난황을 흡수한다. 3월이 되면 전장이 1.0~1.9 cm로 성장한다. 이 무렵 낮에는 저층 부근, 밤에는 표층과 저층에서 농밀층을 이룬다. 4월 중·하순경에는 전장 3.0 cm 정도가 될 무렵 유어기로 들어가고, 일부는 流藻에 붙어 표류하여 다니며, 일부는 잘피장에 서식한다. 이런 상태는 40~50일간 지속되며, 전장 5.0~6.0 cm에 달하게 되면 流藻를 떠나 잘피장에 서식하게 된다. 그리고 7월경에는 7.0 cm, 8월경에는 8.0 cm, 12월경에는 10 cm 정도까지 성장한다. 8월경부터는 잘피장에 서식하는 것도 모자반류가 서식하는 藻場으로 이동한다. 성어는 灣내부에는 적게 되고, 암초가 발달한 연안 먼 바다쪽에 많이 된다. 암반의 틈이나 구멍 등에 서식하며 1개소 10만 이상의 군을 이루고 있다. 耳石으로부터 성장을 판단하면, 1년어는 약 9 cm, 2년어는 약 13 cm, 3년어는 16 cm, 5년어는 약 19 cm 정도의 체장으로 된다.

(마) 섭이

잘피장에서 서식하는 0세어의 볼락은 단각류, 등각류, 곤쟁이, 그 외의 소형 갑각류를 섭이한다. 1세어 이상이 되면 갑각류를 섭이하는 데는 커다란 차이는 없지만, 동일종의 볼락 0세어를 공식한다든지, 멸치나 전갱이 치어를 포식하는 비율도 증가하게 된다.

성장단계에 따라 서식장이 변하며, 그에 따라 식성도 변한다. 浮遊 자어는 표층성의 소형 갑각류를 많이 포식한다. 전장 6 cm미만의 유어는 잘피장에서 부유성의 단각류 등의 소형 갑각류를 섭이한다. 잘피장을 떠나서 암초지역으로 이동하면, 주로 야간에 등각류, 새우류, 게류, 다모류 등을 섭이한다. 성어는 암초지대에서 먹이로 되는 어류, 두족류, 새우류, 게류, 다모류, 연체류 등을 포식한다.

(3) 참돔의 생태

(가) 참돔의 생활사

동계의 저수온기를 깊은 곳에서 월동한 성어는 춘계에 수온이 상승함에 따라 산란회유를 시작하고 암초성의 산란장에 군집한다. 산란은 수온 14℃ 전후부터 시작하여, 18℃ 전후로 상승할 때까지 약 2개월여에 걸쳐 계속된다(立石 等, 1982).

방출된 난은 표·중층으로 부유하다가 약 2~4일(수온 14~18℃)이 지나면 자어가 부화한다. 부화 후 3~5일 동안은 난황을 흡수하고, 후기 자어로 발육하면 요각류의 노플리우스와 와편모조류 등의 미소한 플랑크톤을 섭이하기 시작한다. 부화 후 약 1개월간 연안 지역에 넓게 분산하여 부유생활을 마친 자어는 전장 10 mm 전후로 될 무렵부터 연안의 천해지역에 모이기 시작한다. 전장 10 mm 전후에 몸의 모든 기관이 급속하게 발달하며, 변태를 완료한 치어는 연안 천해지역의 자치어 성육장에 내유하여 저서생활로 이행한다. 해저생활로 이행할 시기의 전장은 대략 12~15 mm 정도이다(田中, 1979). 자치어 성육장이 형성된 장소는 수심 10 m 전후에서 저질은 中沙~細沙의 경우가 많다. 해역과 해에 따라서는 수심 30 m 전후까지의 모래로 조성된 저층이나 천해의 잘피장이 자치어 성육장으로 되는 것도 있다.

저서생활로의 移行期와 저서생활 초기의 치어는 성육장의 해저 바로 위에 밀집한 부유성 요각류의 *Acartia clausi*와 *A. steueri*를 주로 섭이하지만, 성장과 함께 저서성의 단각류와 열각류로 食性이 전환된다(木會, 1980). 이 시기의 日成長量은 0.7 mm 전후이며, 5월 중순에 15 mm 전후에서 착저한 치어는 6월 중순에는 35 mm 전후로, 7월 중순에는 60 mm 전후로 각각 성장한다. 이와 같은 성장과정은 年에 따라 다르며, 참돔의 치어 밀도, 경쟁종의 존재, 주요한 먹이생물의 양 등에 크게 영향을 받는다. 특히 가장 중요한 먹이인 요각류, 단각류, 열각류의 양은 그 年의 치어의 양적 수준을 결정하는데 중요하다. 연안 천해의 성육장으로부터 연안 먼 바다 깊은 곳으로 이동하는 하계 전후로부터 추계까지는 食性도 열각류, 단각류로부터 대형의 다모류, 새우류, 게류 등으로 변한다(木會, 1985).

참돔 0세어는 연말에는 14 cm 전후까지 성장하며, 수온이 내려가는 동계에는 주로 50 m 이심의 수층에서 월동한다. 이 시기에 0세어는 그다지 섭이하지 않고 성장은 거의 정체된다. 월동 후 춘계에 1세어로 된 참돔은 수온의 상승과 함께 천해지역으로 이동하고, 다모류와 새우류, 게류 등의 갑각류를 주로 섭이하며 성장한다. 이 시기의 1세어의 서식장은 0세어의 성육장을 포함하여 年에 따라 0세어의 분포와 성장에도 영향을 미친다(田中, 1986). 7~8월에는 18 cm 전 후까지 성장하면, 대부분의 1세어는 연안 천해지역으로부터 연안 먼 바다의 수역으로 이동한다. 이와 같이 춘계의 수온 상승기에 있어서 깊은 곳에서 얕은 곳으로의 接岸회유와 수온하강기에 있어서 얕은 곳에서 깊은 곳으로의 離岸회유는 성숙이 시작될 때까지 미성어 기간동안 계속된다. 이 離·接岸회유의 범위는 성장과 함께 차차로 연안 먼 바다까지 이행된다. 개체군으로서 성숙 연령에 달하는 4세어로 되면, 이와 같은 接岸에 대하여 수직방향의 이동으로부터 육지 연안에 평행한 방향의 廣域회유로 이행한다(大内, 1980). 성어는 산란, 색이, 월동을 축으로 계통군에 고유의 회유를 행한다.

(나) 참돔의 성장

부유 생활기의 참돔 치어의 성장은 사육 조건하에서 치어의 성장 과정에 의해 추정될 수 있지만, 근년 耳石一周輪에 의한 年齡査定이 가능하며, 직접적으로 천연 자어의 성장을 추정할 수 있게 되었다. 조사 결과의 일례(田中, 1986)에 의하면, 부화 후 10일에 全長 약 3 mm, 20일에 6 mm, 30일에 11 mm(어느 경우도 고정과 인망시의 수압에 의해 10~20%정도 수축)로 성장한다. 이 값은 사육조건하의 성장과 거의 같은 정도이지만, 수온이 3~4℃ 낮은 조건을 고려하면 천연 환경하에서의 자어의 성장은 양호하다고 생각된다(田中, 1986). 부화 후 30~40일에 변태를 완료하여 성육장에 착저한 치어는 단각류와 열각류를 활발히 섭이하며, 수온의 상승과 더불어 급속히 성장한다.

치어기의 성장은 해역과 연도별 차이에 의한 가입시기와 먹이조건에 의해 또한 동일해역에 있어서도 수심과 저질 등에 의해서 상당히 달라진다고 알려져 있다. 미성어에서 성어까지의 성장도 해역에 따라 상당한 차이를 나타낸다. 해역에 의한 성장의 차이는 초기 성장기의 수온과 밀접한 관계가 있고, 또한 그것이 상대적으로 높은 해역은 대체적으로 그 후의 성장기 수온도 높은 경우가 많다(落合, 1986).

(다) 성육 및 산란

참돔이 성육을 시작하는 체장은 양성어나 천연산이나 거의 비슷하며, 개체수 50% 정도 성숙한 암컷들의 가량이 체장은 26 cm, 거의 전 개체가 성숙한 것은 33cm이다. 한편 수컷의 경우에는 가량이 체장 22 cm 전후에서 전 개체가 성숙한다. 양성어가 성육에 달하는 연령은 양성시의 수온과 먹이조건에 따라 다르지만, 수컷은 2년, 암컷은 3년에 거의

전 개체가 성숙한다. 이에 대하여 천연산은 대부분의 개체가 성숙하는 것은 암컷은 4세 어, 수컷은 3세어이다(北島, 1978). 양성어가 천연산에 비해 성숙 연령이 약 1년 정도 빠른 것은, 양성어의 성장이 천연산 보다 빠르기 때문이다.

참돔의 산란장은 대개 수심 30~100 m의 구릉지로 비교적 용기가 풍부한 암초지역이다.

(라) 회유 및 이동

봄부터 여름까지 연안 천해지역의 성육장에서 자치어기를 보내고, 크기 90 mm 전후로 성장한 것은 9~10월에 수온이 하강하기 시작하면, 연안 먼 바다의 깊은 곳으로 흩어진다. 12~1월에는 대부분의 0세어는 수심 50~60 m 이심의 월동장으로 이동하고, 거기서 동계의 수온하강기를 보낸다. 또한 발육과 성장이 늦어진 군과 전체적으로 성장이 지체된 해에는 상당량의 0세어가 인접한 해역에 남아 서식하는 것으로 알려져 있다.

월동한 0세어는 4~5월에 크기 10 cm 정도가 되어 연안지역으로 집안하며 활발하게 섭이를 한다. 그 후, 9월 이후 수온이 저하함과 동시에 다시 연안 먼 바다의 깊은 곳으로 이동하여 월동한다. 1~3세어는 기본적으로는 춘계의 接岸→索餌와 추계의 移岸→연안 먼 바다 월동이라는 계절적 이동을 반복하면서 점차로 분포역을 연안 먼 바다 쪽으로 넓혀간다. 4세 이상의 성어는 등심선을 따라서 수평방향으로 이동하는 것이 많고, 광역적으로 회유를 행한다.

(마) 식성과 피포식

부화 후 30일 전후까지의 부유생활기는 요각류의 노플리우스와 코페포다, 미충류, 기각류가 주요한 먹이다(鈴木, 1983). 치어로의 이행기로부터 저서생활 초기에는 淺海지역 부근의 저층에 밀집하는 부유성 요각류, *Acartia clausi*와 *A. steueri*가 주요한 먹이로 되며, 그 후 성장함에 따라 요각류→단각류→게류→새우류→소형 새우 및 어류로 주요한 먹이 생물이 변한다(木會, 1980).

0세어의 食性은 그의 분포 밀도와 환경 중의 먹이생물 조성 등에 따라 현저하게 변한다. 1세어의 食性은 0세어 만큼은 조사되어져 있지는 않지만, 다모류, 새우류, 게류등이 주요한 먹이이며, 그 다음은 단각류, 열각류, 소형 새우 및 어류를 각각 많이 포식한다(木會, 1985).

참돔 치어를 포식하는 종은 넙치, 방어, 조피볼락, 갯장어 등으로 알려져 있다. 야간에는 참돔 0세어가 해저에 착저하여 수면하기 때문에 이들의 포식어중 야행성 갯장어류가 가장 중대한 영향을 미치는 것으로 생각된다(落合, 1986).

(4) 참돔의 어장도(회유도)

Fig. 7은 통영해역 바다목장화 조성 예정지 및 인근 해역에서 참돔의 월별 조업도를

나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이, 참돔은 매물도 주위에서 월동을 하다가 일부는 한산도와 미륵도의 내만을 따라 곤리도까지 회유하며, 나머지는 연화도와 비진도, 추도와 연대도의 중간수역을 통하여 곤리도 쪽으로 회유하여 가는 것으로 알려져 있다. 두 곳의 회유경로 중 어느 쪽이 많으냐는 해에 따라 차이가 있으며, 최근에는 추도와 연대도의 중간수역을 통하여 곤리도 쪽으로 회유하는 양이 많다고 알려져 있다. 회유는 수온 등 환경 이외에 먹이생물, 저질 등과 관계가 있다. 저질과 관련해서는 참돔의 경우, 사질대에서 많이 어획된다고 보고되어 있으나, 연화도와 비진도의 중간수역은 사질이 아닌 니질로 대부분 구성되어 있어 해역에 따라서는 저질과 큰 관계가 없는 것으로 생각된다. 이에 대해서는 금후 별도의 연구가 필요하다고 생각된다.

2. 조피볼락용 어초 개발 및 설계도 작성

가. 어초 개발에 필요한 설계조건

조피볼락 어초를 개발함에 있어 적정 구조형태로는 어초 시설 예정해역의 특성조사에서 언급한 조피볼락 및 참돔의 서식 생태자료를 기초로 하여, 접촉 및 시각자극을 극대화할 수 있고 어초 기능면에서 기존 어초기능인 부어구적 기능이외에 자원배양 기능을 가미한 내침하성 구조로 하였다. 어초 구조 개발에 필요한 설계조건으로는 일반적 설계조건과 세부적 설계조건으로 나누어 검토하였다. 여기서 전자는 어초를 개발하는데 필요한 일반적 요구 조건을 나타내며, 후자는 실제 대상 어종에 대한 어초 구조형태 개발에 필요한 조건들이다. 특히, 후자와 관련해서는 통영해역의 주 대상 어종인 조피볼락이외에 비교적 출현량이 많은 참돔에 대해서도 함께 검토하였다.

필요한 일반적 설계조건으로는 안정성, 내구성, 기능성, 경제성, 실행성, 이용성 등 6개 항목으로 나누어 검토하였다. 6개 항목 중 안정성은 주로 재료적 측면에서 검토되었으며, 사용된 재료가 수산생물에 바람직하지 못한 영향을 끼칠지와 시설 해역에서의 전도 및 매몰이 적은 구조형태를 검토하였다. 이와 관련해서 어초 사용 재료로는 현재 사용하고 있는 콘크리트로 하였으며, 안정성에 대한 적정 구조형태로는 어초의 자중을 분산시켜 줄 수 있는 팽이파일 구조를 어초 저면에 보강하였다. 이와 같은 구조는 어초에 처음 시도된 것이다. 내구성과 기능성은 어초가 될 수 있는 대로 장기간에 걸쳐 어초의 기능을 수행해야 하기 때문에 내구성 조건으로는 30년 이상의 수명을 갖을 수 있고, 일정 기간동안 어류의 위집기능을 발휘할 수 있도록 했다. 경제성과 실행성은 기존 어초에 비해 제작 단가가 동등 또는 저렴하며, 시공의 용이성에 관한 조건이다. 경제성과 관련해서는 통영해역 바다목장화의 주 대상 어종이 조피볼락인 점을 감안하여, 다소 제작비용이 높게 요구되더라도 동 어류의 생태습성을 최대한으로 반영하여 조피볼락의 위집을 극대화할 수 있도록 하였다. 실행성에 대해서는 철근조립, 거푸집 제작, 콘크리트 타설, 박리 등 모든 시공조건들이 용이하게 수행될 수 있도록 구조형태를 면구조와 테구조로 적절히 조합

하였다. 이용성에 대한 조건은 시설 후 어초어장에서 이용어법에 관한 것으로 본 개발 어

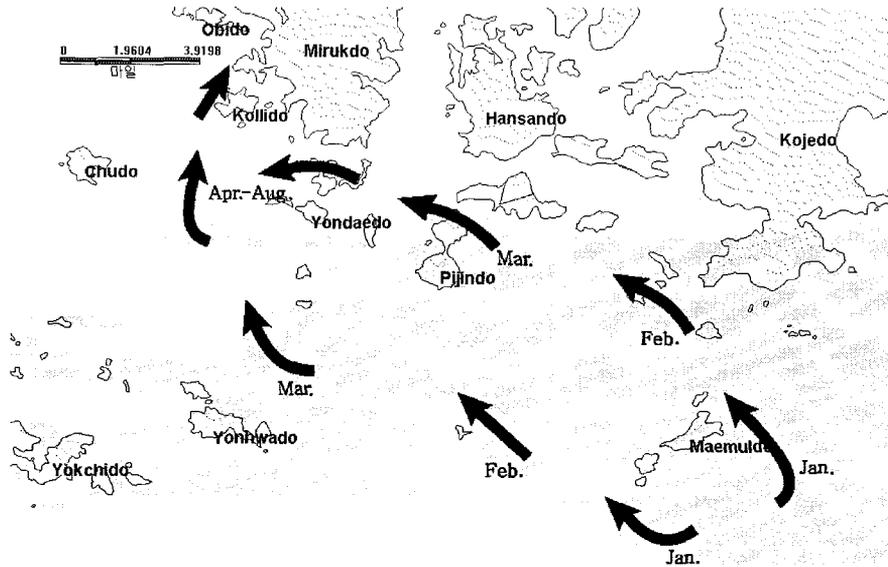


Fig. 7. Migration of red seabream (*pagrus major*) in Tongyeong coastal area.

초의 경우, 낚시와 연승어업에 적합하도록 구조형태를 정하였다.

세부설계 도입조건으로는 생물적 조건, 공학적 조건, 이용성 조건 등 3조건에 대해 검토하였다. 생물조건으로는 조피블락의 경우, 활동성이 비교적 적고, 음영이 풍부한 좁은 공간을 좋아하기 때문에 부재 간격이 좁고, 먹이생물 발생이 풍부한 먼구조가 바람직하다. 한편, 참돔의 경우, 시각자극에 강하게 반응하기 때문에 태구조가 바람직하다. 공학적 조건으로는 部材의 타설 형태, 어초의 部材 간격, 部材폭, 어초 높이 등을 고려하였다. 部材의 타설 형태와 관련해서는 일체식으로 하였으며, 部材 간격은 약 1 m 정도로 하였다. 한편, 部材의 폭은 後流 중에 剝離할 조건을 고려하여 25 cm으로 하였으며, 어초 높이는 3 m로 하였다. 이용성의 조건으로는 어초의 배치형태, 이용어법, 면적 등을 고려하였다. 어초의 배치형태와 관련해서는 어초를 집적하지 않고 분산 배치하였으며, 어초의 배치 과정에서 낚시와 연승의 조업이 원활히 이루어 질 수 있도록 단위어초의 규모를 현행보다 큰 규모인 4,000 m² 정도로 하였다. 이상은 대상어종에 적합한 어초 설계조건들에 관한 것이나, 실제 어초를 설계함에 있어 최종적으로 고려해야 할 사항은 개발 예정해역에서의 어초성이 다른 출현종의 조성이 동등할 경우, 어떤 형태로 어초를 개발할 것이냐 하는 것이다. 어떤 해역에 있어서 어초어장을 조성할 경우, 단일 종을 대상으로 어초를 개발하는 것이 바람직하다. 그러나 출현 어종이 다양할 경우에는 출현 어종의 어초성을 최대한으로 충족시켜 줄 수 있는 구조 형태가 필요하다. 지금까지는 이러한 요구조건을 시설높이, 集積형태 등 어초의 배치 형태에 의하여 해결해 왔으나, 이들은 매몰, 潮流 등에 의한 시설

오차 등의 시공의 한계성 때문에 시설해역에 따라서는 큰 효과를 올리지 못한 것도 사실이다. 따라서 현재로서 가장 바람직한 방법은 어초성이 다른 어종을 동시에 수용할 수 있는 다기능성 어초의 개발이다. 본 연구에 있어서는 이와 같은 이론을 기초하여 주 대상 어종인 조피볼락 이외에 출현량이 많고 고급 어종인 참돔을 동시에 수용할 수 있는 2원화 구조형태를 개발하기로 하였다.

나. 개발 어초의 구조적 특성

본 연구에서 개발된 조피볼락용 상자형어초(3×3×3 m)는 지금까지 개발된 인공어초와 달리 특정 어종(조피볼락, 참돔) 생태 및 저질 등 서식환경을 고려하여 고안된 것이며, 내부 구조는 은신처가 많이 확보될 수 있도록 部材 간격을 좁게 설계하여 방류된 조피볼락 치어가 포식어에게 食害되지 않도록 하였다(Fig. 8~13). 그리고 외부 구조는 어초 바깥면을 면구조로 하여 풍부한 음영을 갖도록 함으로써 미성어, 성어 등의 서식 및 산란에 적합하도록 하였다.

또한, 어종에 따라서는 서식 수층이 상이한 것에 착안하여, 동일 어초의 구조 형태를 2원화시켜 높이가 2 m 이하인 부분은 주축성이 강하고 음영을 좋아하는 조피볼락 등과 같은 어류의 서식에 적합한 면구조, 2 m 이상은 시각 및 청각 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔 및 농어 등의 어류 서식에 적합한 테구조로 설계하여 만들었다.

특히, 우리나라 연안해역의 저질은 대부분 니질 함량이 많아 기존 어초의 경우, 구조적으로 매몰방지 대책이 미흡하여 어초 시설시 어초 자중에 의해 매몰이 심한 실정을 감안하여 본 개발어초에서는 어초 시설 후 매몰을 방지하기 위해 어초 저면에 팽이파일의 부착을 고안하여 어초 자중에 의한 침하를 극소화했다(Fig. 12).

(1) 개발어초의 상세 설명

조피볼락용 상자형어초(3×3×3 m)는 Fig. 8에서 나타난 바와 같이, 저면은 어초 시설시 자중에 의한 매몰을 최소화할 수 있도록 저면의 우각부분 4곳에 각각 팽이파일(40)을 부착하였고, 중간부분(어초 높이 0~2 m)은 저면을 제외하고는 전 부분을 격벽(10)으로 하여 음영을 많이 해줌으로써 조피볼락 등과 같은 음영을 좋아하고, 주축성이 강한 어류의 생태습성에 적합하도록 하였다. 한편, 윗부분(어초 높이 2~3 m)중 바깥쪽은 부재(22) 간격을 약 66 cm 정도로 하여 테구조로 함으로써 상대적으로 저면보다 공간 용적을 많이 하여 어류의 시각 및 청각자극의 유발률을 높게 해줌으로써 이들 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔, 농어 등의 어류 위집에 적합하도록 하였다. 또한 윗부분(어초 높이 2~3 m)중 중앙부분은 상자모양(30)으로 하여 어초 내부로 흘러 들어온 유체를 차단시켜 상하 좌우로 흐름을 바꿔줌으로써 와류 혹은 지형과의 유발을 극대화하였고, 상자내부는 자치어들에게 은신처를 제공하여 성어들로부터 식해되지 않도록 하였다. 특히, 어초

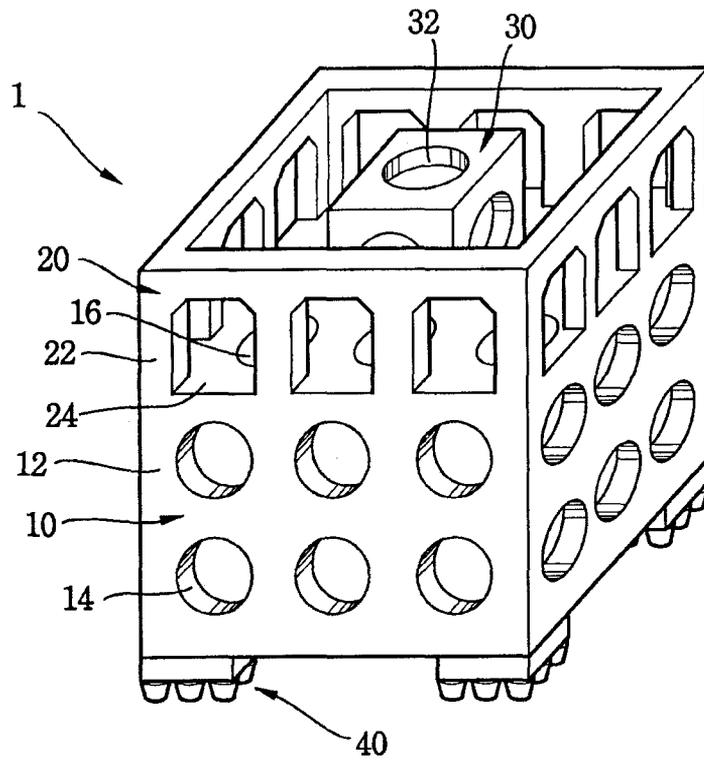


Fig. 8. Box reef developed for enhancement of rockfish resources in Tongyeong marine ranching area. Numbers in the figure indicate main section number of reef in the text.

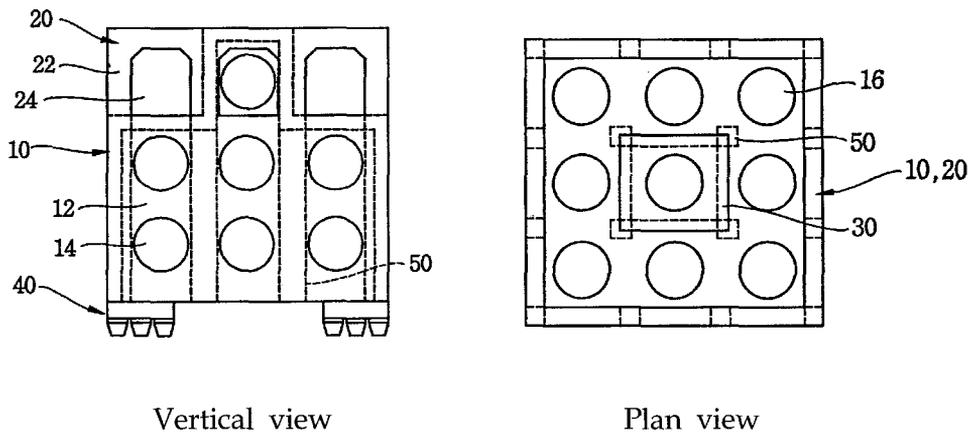
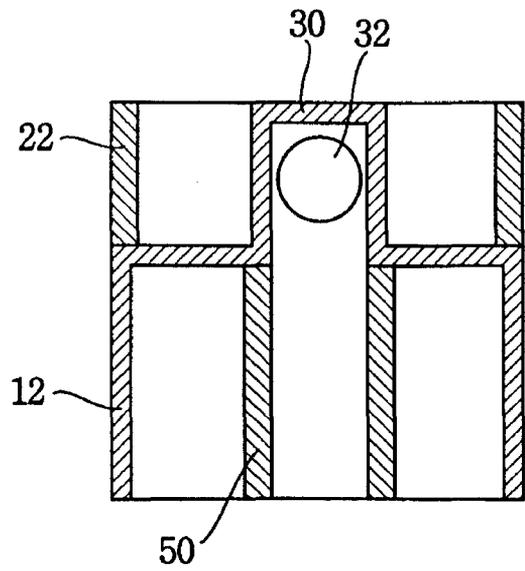
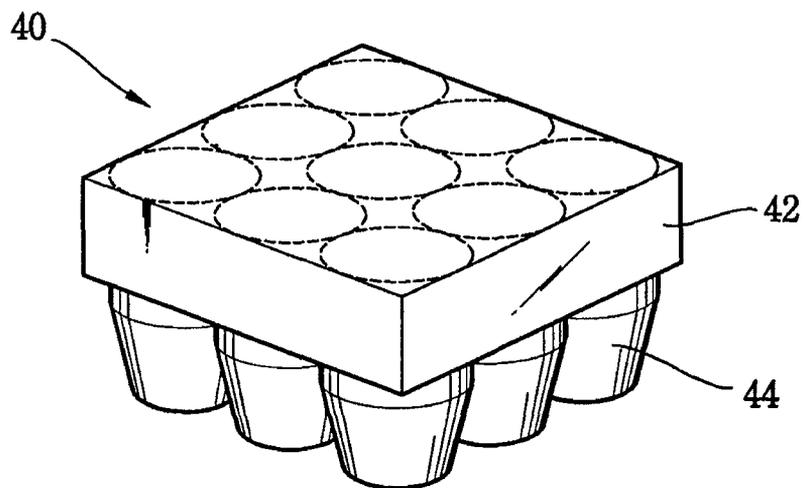


Fig. 9. Sectional drawing of Box reef.

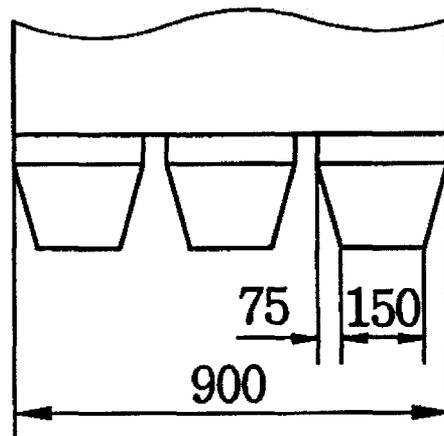
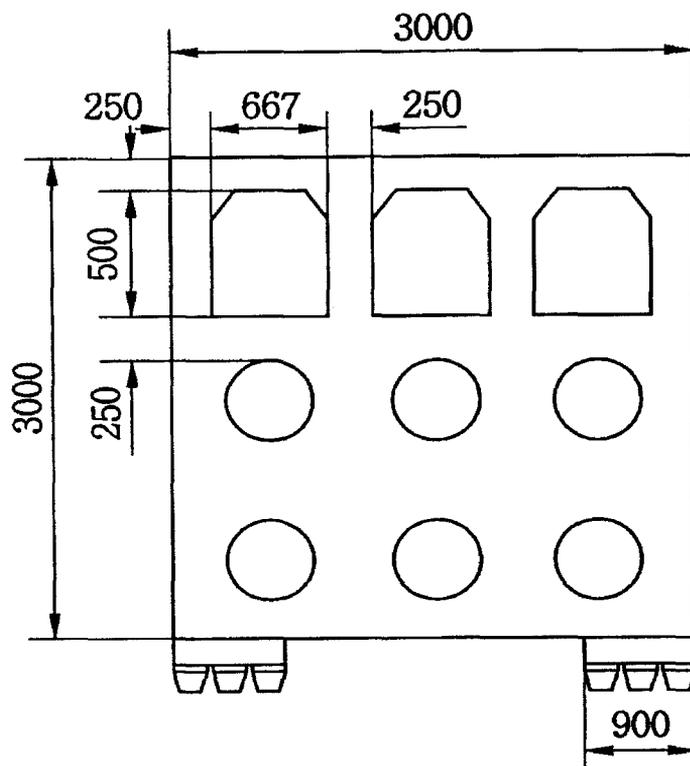


Inner vertical view



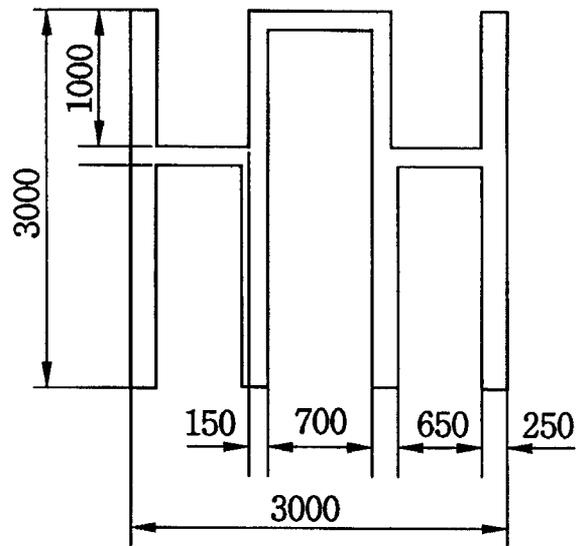
Top pile

Fig. 10. Sectional drawing of Box reef. Top piles are attached to the bottom sides of reef.



unit : meter

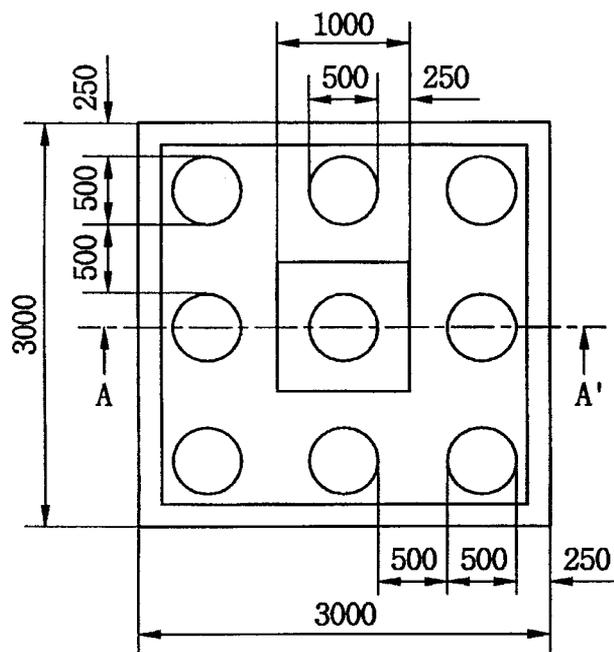
Fig. 11. Sectional drawing of Box reef. The upper shows its vertical view, and the lower indicates vertical view of top pile.



unit : meter

vertical view

Fig. 12. Sectional drawing of Box reef.



unit : meter

Plan view

Fig. 13. Sectional drawing of Box reef.

3. 어초 시설의 배치 형태

가. 어초배치에 대한 전략

통영해역 바다목장화를 위한 어초어장의 조성 규모를 결정함에 있어 대상어종, 수심, 이용어법 등을 고려하였다. 대상 어종은 조피볼락 이외에 통영해역에 출현하는 어종 중 비교적 고급 어종인 참돔, 그리고 최근 자원이 급격히 감소하고 있는 볼락으로 하였다.

대상으로 하는 어종 중 조피볼락과 볼락은 접촉과 시각자극에 강하게 반응하는 어류로 내부 구조가 복잡하고 전체 면적이 큰 구조, 그리고 참돔은 시각 및 음파자극에 강하게 반응하며 외부 용적이 큰 구조에 각각 많이 위집한다. 어장을 조성함에 있어 이런 습성을 기초로 하여 면적의 개념을 도입하였다. 즉 어초 높이는 시설지의 수심이 대부분 30~40 m 정도인 점을 감안하여 3 m로 하였고, 어초 單位간의 거리를 4 m로 하여 單位 어초의 면적을 되도록 넓게 하였다. 이와 같이 어초의 높이와 어초 單位간의 거리를 정한 후, 적정 배치형태에 대해서는 동 해역에서 조피볼락, 볼락, 참돔, 감성돔 등을 대상 어종으로 하는 연승과 낚시어업을 전업으로 하는 어업인들이 많은 점을 감안하여 1단으로 하여 조성하였다.

나. 조성규모

어초어장 면적은 9 km²로 4개의 단위어초로 구성된다(Fig. 14). 단위어초 1개소의 규모는 약 4,000 m²로 상자형어초(Fig. 8) 100개(2,700 m³), 사각어초(2×2×2 m) 162개(1,296 m³)로 구성된다. 그리고 단위어초 간의 거리는 약 1 km로 하였으며, 주위에 시설된 기존 사각형 어초와도 유효어획 거리를 유지하여 어장조성의 효과가 극대화되도록 하였다(Fig. 14).

어초의 규모는 출현어종, 어군의 크기, 이용어법 등에 의해 결정된다. 국립수산진흥원(1989)에서 삼중자망을 이용하여 우리나라 연안해역의 최적 어초어장(魚礁群)을 조사한 결과, 통영해역의 경우 최적 어초 규모로 10,000 m² 정도가 바람직하다고 하였다. 이 규모는 조사된 다른 해역(동, 서, 남해안 어초 시설지)에 비해 약 2배 이상의 큰 규모인데, 통영해역의 경우 큰 규모의 어초어장에서 어획 생산성이 높았던 것은 다른 해역에 비해 회유성 및 정착성 어종이 풍부하여 상대적으로 어군량이 많아 어초의 이용 범위가 넓었기 때문이라고 할 수 있다.

본 연구에서 어초어장 조성규모를 10,000 m²보다 큰 16,000 m² 한 것은 동 해역의 주 대상 어종인 조피볼락은 이동성이 크지 않으므로 되도록 많은 양을 수용하기 위해서는 넓은 서식공간이 필요하다는 것, 그리고 동 해역에는 참돔과 감성돔이 계절별로 차이는 있지만 接岸과 離岸回遊의 경로에 위치해 있어, 이들 어종에 대해 일정 기간동안 서식장으로서 기능이 부여되어야 한다는 것, 마지막으로 방류된 조피볼락의 치어를 포식어로부터 보호하기 위해서는 상대적 넓은 은신처가 필요했기 때문이다. 한편 이용 어법의 측면

에서는, 앞서 배치 전략에서도 언급한 바와 같이, 조업에 이용되는 어구가 주로 낚시와 연승으로, 낚시의 경우 되도록 많은 어선(4~5톤, 약 10척 조업 가능)이 조업할 수 있도록 하였다. 이 규모는 현행 단위어초 시설규모인 800 m²(4~5톤, 1~2척 조업 가능)보다 5배 큰 규모이다.

다. 어초배치

어초의 시설규모가 동일하다 할지라도 수심, 어초의 시설높이, 어초單體 및 單位어초 간의 거리 등에 따라 어초어장의 생산성은 달라진다. 魚群은 활발한 日周期 행동을 하며 5~10 km도의 생활 행동권을 갖는 것이 많다. 이러한 日周期 행동은 행동권 내에 자연초와 같은 어장이 얼마나 존재하느냐에 따라 다르나, 어초에서의 이동 범위는 4,000~8,000 m²크기의 단위어초의 경우 약 1 km로 알려져 있다(金, 1999). 그러나 이것은 어류가 얼마나 이동하느냐 하는 것이고, 실제로 우리는 대상으로 하는 어류가 어초에서 얼마나 오래 동안 체류할 것인가에 관심이 있을 것이다.

어초에서의 魚群이 얼마나 머무르느냐는 流線의 유발 형태에 크게 의존한다. 그러나, 이와 같은 습성도 계절적으로 深淺이동을 하거나, 계절에 따라 분포중심의 위치가 변하기 때문에 漁期를 장기화하기 위해서는 深淺방향으로 전개하여 배치하는 것이 바람직하다. 본 연구의 경우, 바다목장화 조성 예정지가 주위에 크고 작은 섬들로 둘러싸여 있기 때문에 深海쪽으로 배치하는 것이 어려워 深淺방향 대신, 동 조성 지역 내의 수심의 차이를 이용하여 30~50 m 범위에 걸쳐 어장이 조성될 수 있도록 하였다. 이것은 30 m에 위치한 어초를 수심 50 m의 어초와 연계함으로써 월동기에 조피볼락 등이 50 m의 수심대에 시설된 어초에서도 월동할 수 있도록 하기 위해서였다.

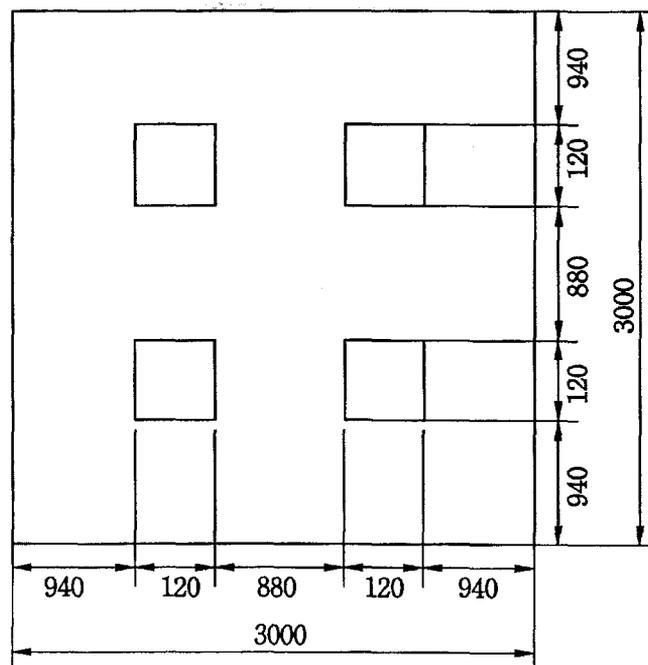
어초어장 조성에 있어서 어초의 시설 높이(부피의 개념)도 어류를 어초어장에서 되도록 오랫동안 머무르게 하는데 영향을 준다. 그러나 이와 같은 영향은 어종에 따라 차이가 있으며, 회유성 어종인 삼치, 방어, 고등어 등과 같이 음파나 유체자극에 강하게 반응하는 어류들은 어초의 높이가 중요한 요소로 작용하지만, 조피볼락이나 참돔과 같이 접촉이나 시각자극에 강하게 반응하는 어류는 높이 보다는 수평적인 크기(면적 개념)가 중요한 요소로 작용한다(Kim et al., 1994). 특히, 저서성 어류인 경우 어초에서의 체류는 어초 높이와는 상관도가 낮은 것으로 알려져 있다(柿元, 1998). 본 연구에 있어서도 이러한 특성을 감안하여 시설 높이보다는 수평적인 크기 즉, 면적 개념에 중점을 두어 어초의 시설 높이를 3 m로 하였다. 이와 함께 배열은 높이가 서로 다른 상자형어초와 사각모양의 어초를 혼합하여 1단으로 하고, 단위어초의 1개소 규모가 120×120 m가 되도록 하였다(Fig. 4-2-15). 또한 어초單體의 배치형태도 어초를 集積하여 시설하지 않고, 상자형어초와 사각모양의 어초를 약 4 m 간격으로 분산 시설하여 되도록 면적을 넓게 하였으며, 전체적인 형상(정면도)이 파형을 유지하도록 하여 와류, 지형파등 유체역학적 효과가 극대화 될 수

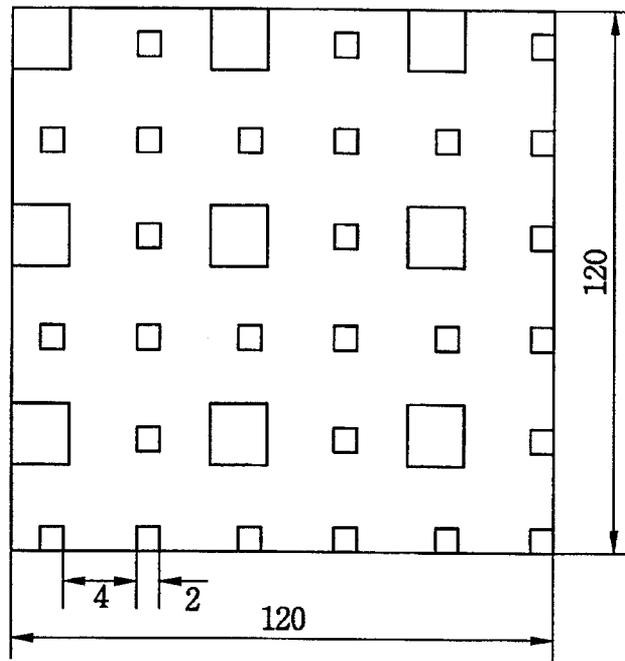
있도록 하였다(Fig. 14, 15).

單位어초간의 거리도 어류의 체류에 영향을 준다. 조피볼락이나 참돔은 대개 단위어초 간의 유효이동 거리가 400~600 m 정도로 방어나 삼치 등과 같은 회유성 어종에 비해 짧다. 그러나 어류의 단위어초간의 이동거리는 조류의 세기, 지형, 어초의 규모에 따라 다르기 때문에 일률적으로 정하기는 어렵고, 일반적으로 어초어장에서의 대상 어종의 이동 거리뿐만 아니라, 목적으로 하는 어종을 효율적으로 조업할 수 있는 거리 등에 의해 결정한다. 본 연구에 있어서도 단위어초 간의 거리를 결정함에 있어서 이들 두 요소를 우선적으로 고려하였다. 즉, 400~600 m보다 긴 1 km 정도로 한 것은 실제 어초가 시설된 곳에서는 낚시, 그리고 실제 어초가 시설되지 않은 단위어초 간의 사이에는 연승이나, 유효 어망을 사용할 수 있도록 하기 위해서였다.

라. 기존 어초의 시설 상황

통영해역 바다 목장화 주변 해역인 한산면과 산양면 해역에 시설된 어초는 모두 333,172 m²이다(Fig. 3). 지역별로는 한산면이 265,250 m², 산양면이 67,922 m²로, 한산면이 전체 80%의 시설 비율을 차지하고 있다. 어초 종류별로는 사각어초가 약 90%를 차지하고 있으며, 이들 어초 중 사각어초와 잠보형은 어류용 어초로 수심 20 m 以深, 그리고



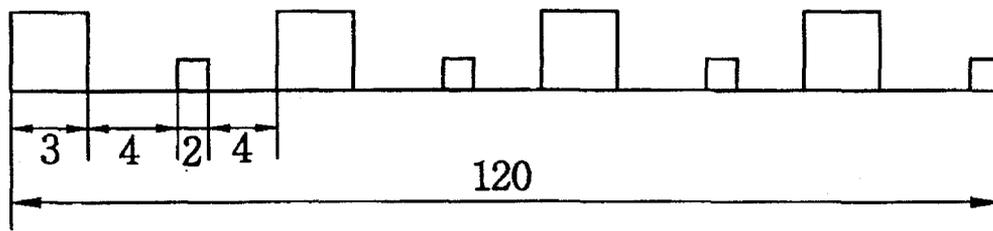


unit : meter

Fig. 14. Deployment of artificial reef complex. The upper shows plan view, and the lower indicates plan view and overall deployment of groups in the complex. Rectangle in the upper figure give set reef with about 4,000 m².

반구형은 어류의 유치자어의 보육용, 패류의 육성초로 20 m 以淺에 각각 시설된 것들이다. 어초 시설비율을 연도별로 보면, 1970년대에는 약 4%, 1980년과 1990년대에는 약 48%로 1980년대 이후 시설비율이 높게 나타났다.

시설된 어초를 위치별로 살펴보면, Fig. 17에서와 같이 대부분의 어초가 섬주위에 시설되어 있으며, 바다목장화 조성 예정지인 곤리도 주변 해역에는 거의 시설되어 있지 않다. 특히, 참돔의 接岸 및 離岸회유의 경로상에 있는 추도와 곤리도, 추도와 연대도, 연화도와 비진도, 연화도와 매물도 사이에는 거의 시설되어 있지 않다. 이것은 지금까지의 어초 시설이 수심과 저질에 의해서 결정되었기 때문이다. 그러나 이들 해역에 대해서도 금후 어초 시설 후 매물에 대한 적절한 공법을 도입하여 어초를 시설함으로써 통영해역의 바다목장화 조성지와 연계될 수 있도록 하여 어장의 시설 효과를 극대화해야 할 것이다.



unit : meter

Vertical view

Fig. 15. Deployment of artificial reef complex.

Table 3. The bulk volume (m³) of artificial reef installed in Tongyeong coastal area during 1971-1997

Area	Type of reef	Installation year			Total
		1971-1979	1980-1989	1990-1997	
Sanyang	Dice	11,200	20,720	28,400	60,320
	Turtle	0	0	7,602	7,602
Hansan	Dice	3,520	128,392	102,704	234,616
	Turtle	0	0	11,499	11,499
	Jumbo	0	6,528	12,607	19,135
Total		14,720	155,640	162,812	333,172

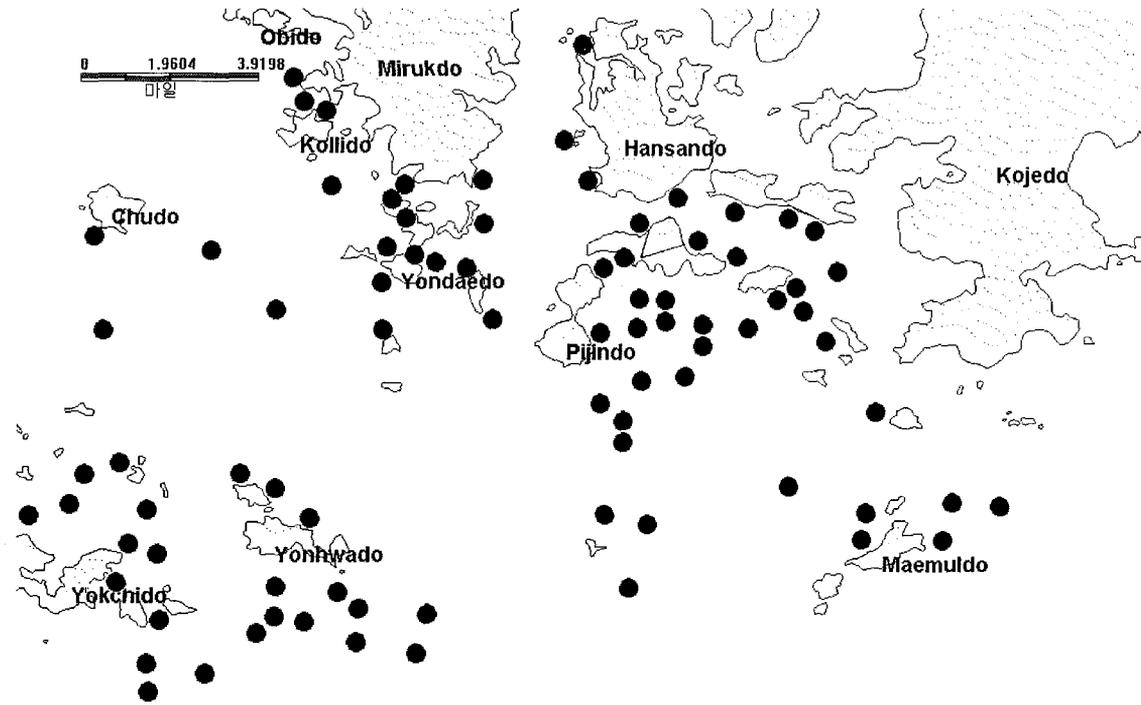


Fig. 16. Artificial reefs installed in tongyeong coastal area during 1971-1997.

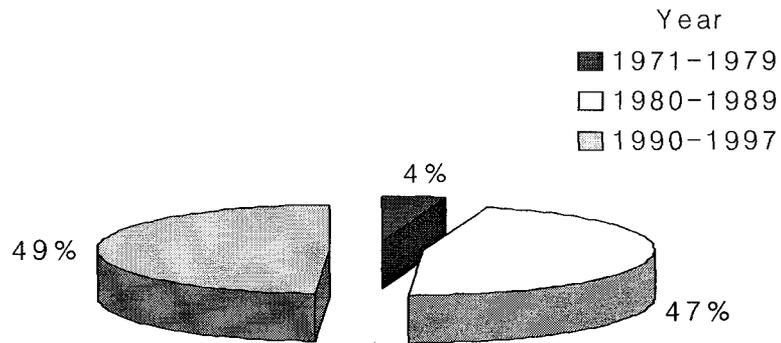


Fig. 17. Diagram of the bulk volume (m^3) of artificial reef installed in Tongyeong coastal area during 1971-1997.

IV. 결 론

1. 인공어초 시설 예정해역의 특성조사

바다목장화 조성지는 부도를 연계한 곳과 끈리도를 연계한 곳을 후보지로 정하여 조사한 결과, 부도를 연계한 곳이 수심 및 경사도, 저질 등의 조건으로부터 적지로 판단되었다. 특히 동 장소는 주위에 부도를 비롯한 크고 작은 섬들이 있을 뿐 만 아니라 인근에 기존 어초가 있어 자원조성 효과가 크게 기대된다.

동해역에 시설할 인공어초의 어초 구조 및 배치형태를 구명하기 위해 통영해역에 출현하는 어종의 어초성 조사를 조사한 결과, 끈리도 인근 해역에서 채집된 자치어 모두 76종이었으며, 성어는 89종이었다. 이들 어종의 어초를 살펴보면 자치어의 경우 조피블락, 블락 등 접촉자극이 강한 I형 어류는 19종이었고, 참돔, 감성돔 등시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류는 9종으로 나타났다. 한편, 성어의 경우 전체 89종 중 I형은 조피블락, 블락 등 19종, II형은 참돔, 농어 등 21종, III형은 방어, 고등어 등 8종이었다.

2. 조피블락용 어초 개발(상자형어초) 및 설계도 작성

본 연구에서 개발된 조피블락용 상자형어초(3×3×3 m)는 지금까지 개발된 인공어초와 달리 특정 어종(조피블락, 참돔) 생태 및 저질 등 서식환경을 고려하여 고안된 것이며, 내부 구조는 은신처가 많이 확보될 수 있도록 部材 간격을 좁게 설계하여 방류된 조피블락 치어가 포식어에게 食害되지 않도록 하였다. 그리고 외부 구조는 어초 바깥면을 먼구조로 하여 풍부한 음영을 갖도록 함으로써 미성어, 성어 등의 서식 및 산란에 적합하도록 하였다.

3. 어초 시설의 배치형태

어초어장 면적은 9 km²로 4개의 단위어초로 구성되며, 단위어초 1개소의 규모는 약 4,000 m²로 상자형어초 100개(2,700 m²), 사각어초(2×2×2 m) 162개(1,296 m²)로 구성된다. 그리고 단위어초 간의 거리는 약 1 km로 하였으며, 주위에 시설된 기존 사각형 어초와도 유효어획 거리를 유지하여 어장조성의 효과가 극대화 되도록 하였다.

어초 배치형태와 관련해서는 바다목장화 조성 예정지가 주위에 크고 작은 섬들로 둘러싸여 있기 때문에 深海쪽으로 배치하는 것이 어려워 深淺방향 대신, 동 조성 지역 내의 수심의 차이를 이용하여 30~50 m 범위에 걸쳐 어장이 조성될 수 있도록 하였다. 그리고 어초의 시설 높이는 3 m로 하였다. 이와 함께 배열은 높이가 서로 다른 상자형어초와 사각모양의 어초를 혼합하여 1단으로 하고, 단위어초의 1개소 규모가 120×120 m가 되도록 하였다. 또한 어초單體의 배치형태도 어초를 集積하여 시설하지 않고, 상자형어초와 사각모양의 어초를 약 4 m 간격으로 분산 시설하여 되도록 면적을 넓게 하였으며, 전체적인

형상(정면도)이 파형을 유지하도록 하여 와류, 지형파등 유체역학적 효과가 극대화 될 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

- Kim, C. G., J. W. Lee, and J. S. Park. 1994. Artificial reef designs for Korean coastal waters. *Bull. of Marine Science*. 55 (2-3). 858~866.
- 金 昌吉, 1999. 우리나라 人工魚礁 技術開發 水準과 今後 開發 方向. 기르는 어업의 실현을 위한 인공어초 개발 방향에 관한 인공어초 국제세미나. 한국해양수산개발원. 2-1~19.
- 國立水産振興院. 1989. 全國沿岸 人工魚礁 漁場 生産性調査. 國立水産振興院 事業報告書 82호. 107pp.
- 木曾克裕, 1980. 平戸島志志灣におけるマダイ当歳 魚個体群の攝餌生態-I, 成長に伴う餌料の變化とその年變動. *西水研研報* (54) : 291-306
- 木曾克裕, 1985. 平戸島志志灣におけるマダイ未成魚の分布様式と攝餌生態. *西水研研報* (62) : 1-17.
- 北島 力, 1978. マダイの採卵と稚魚の量産に関する研究. *長崎水試論文集* (5) :1-92
- 柿元 皓, 津村 憲, 野田 幹雄. 1998. 人工魚礁による漁場・増殖場造成. *水産工學*. Vol. 34 (3). 305~311. 1998.
- 大内康敬, 1986. 幼魚の生態とその漁業. マダイの資源培養技術 (田中 克・松官義晴編). 恒星社厚生閣 東京 : 75-90
- 落合 明・田中 克, 1986. マダイ. 魚類學下. 恒星社厚生閣 東京 :736-750
- 鈴木重善・桑原昭彦, 1983. 若狭灣西部海域におけるマダイ仔魚の鉛直分布と食性. *水産海洋研究#報* (42) : 10-16
- 立石 賢・森 勇, 1982. 鱒曾根におけるマダイの産卵について. *水産増殖* 30 (2) : 119-125.
- 田中 克, 1979. マダイ稚魚の底生生活への移動過程. *水産土木* 16 (1) : 47-57.
- 田中 克, 1986. 稚仔魚の生態, マダイの資源培養技術 (田中 克・松官義晴編). 恒星社厚生閣 東京 : 59-74

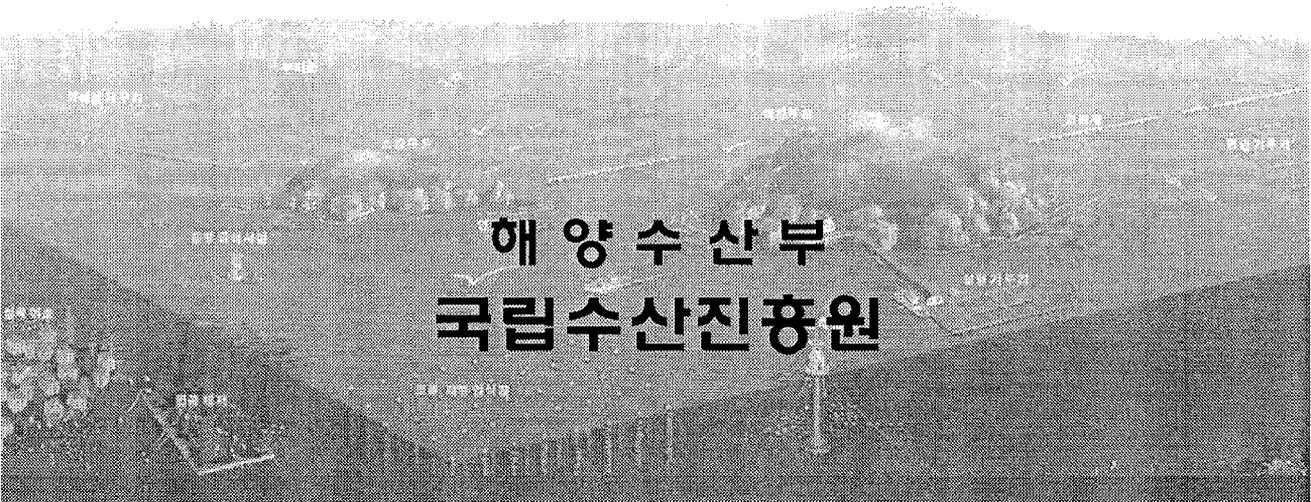
통영해역 바다 목장화 연구 개발 용역사업 1차 보고서

- 인공어초에 의한 어장 조성 모델 개발

Studies on the Development of Marine
Ranching Program in Tongyeong, Korea

- Development of new fishing ground model
by artificial reef

2000. 12



해양수산부
국립수산진흥원

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 1999-2004 통영해역의 바다 목장 연구 개발 용역 사업
1차 보고서 (인공어초에 의한 어장 조성 모델)로 제출합니다.

2000. 12

주관 연구 기관 : 한국해양연구소

총괄연구책임자 : 김종만

협동연구기관 : 국립수산진흥원

세부과제책임자 : 김창길

(인공어초에 의한 어장 조성 모델 개발 연구)

연구원

국립수산진흥원 : 김창길, 김호상, 정의철, 김재오, 손팔원, 김태호, 배
봉성, 김성태, 하현철, 주재욱(세일종합기술공사)

요 약 문

기능성(機能性) 인공어초에 의한 어장조성 모델 개발 연구에서는 통영해역 바다 목장화 조성 예정지에 대한 적지조사, 통영해역 바다 목장화 주대상 어종인 조피볼락용 어초 개발, 그리고 개발된 조피볼락용 어초의 적정 배치형태 등 3분야에 대하여 결과를 도출하였다.

통영해역 바다 목장화 조성 예정지의 적지 선정은 조류나 저질, 경사도 등 물리 및 지형학적요인, 통영해역에서 주로 어획되고 있는 어종들의 어도(魚道) 등 생물적 요인, 어획량 및 이용어법 등 사회, 경제적 요인에 의해 결정하였다. 조피볼락용 어초의 개발은 조피볼락의 생태 습성 및 바다 목장화 조성 예정지의 지형학적인 요인을 기초로 하였다. 또한 개발 어초의 실 해역에 배치는 조성 예정지의 해양학적 조건, 조피볼락의 이동 등 생태 습성, 어선척수 및 이용어법 등을 고려하여 결정하였다.

조사결과, 통영해역 바다 목장화 조성 적지로는 곤리도 수역이 좋을 것으로 판단되었다. 그리고 조피볼락용 어초로 상자형어초(3×3×3 m)를 개발하였다. 상자형어초는 조피볼락이 좋아하는 음영을 많이 제공해주는 면구조와 상대적으로 시각자극을 많이 유발시키는 테구조로 조합하여 설계된 것이 특징이다. 통영해역 바다 목장화 조성 면적은 9 km² 정도며, 용적으로는 어초군(魚礁群)에 해당하는 2,700 畝 m² 정도이다. 어초군은 4개의 단위어초(單位魚礁)로 구성되며, 단위어초간의 거리는 약 800 m로 하였다. 각 단위어초의 배열은 1단 배열로 각 어초간의 거리는 약 20 m 정도를 유지토록 하였다. 이와 함께 기능성 인공어초에 의한 통영해역 바다 목장화의 조성효과를 향상시키기 위해 4개의 어초 어장 배치도가 제안되었다.

Summary

Three major items for development of new fishing ground model by functional artificial reef were discussed, site selection for marine ranching creation in Tongyeong, development of new artificial reef for enhancement of black rockfish (*Sebastes schlegelii*) and decision of deployment pattern of developed artificial reef.

Site selection for marine ranching creation in Tongyeong was made by three factors; physical and geological conditions like water current and local topography, biological conditions like fish path of dominant fish species caught in Tongyeong sea area, and economical and social conditions like fish catch and fishing methods used in the same area. Development of new artificial reef was made on the basis of both behavior characteristics of black rockfish, and topographic conditions like bottom sediment. Also deployment pattern of developed artificial reef was decided by oceanographic conditions, characteristics responses of black rockfish, the number of fishing boats and fishing methods used in Tongyeong sea area.

The result shows that area around Kolli island is a suitable place for marine ranching creation in Tongyeong. Also, as reef to meet the target species, black rockfish, of marine ranching in Tongyeong, Box reef (3×3×3 m) was developed. It was designed for large vertical surface structures with ample shadow and frame structures with various disturbance of current. The size of marine ranching creation in Tongyeong will be at least 9 km², the bulk volume of actual reef be on the order of 2,700 m³, as a reef group. Reef group is composed of four reef sets, the size of reef set is about 675 m³ in bulk volume. And in consideration of perceiving distance of fish to the presence of reef, reef set in reef group was installed at the range of 800 m. Deployment of each reef set was made by the one layer arrangement which each reef was installed at the range of about 20 m. In order to increase the effectiveness of creation of Tongyeong marine ranching by functional artificial reefs, four deployment models were supposed, i. e., Baduk board type, Diamond type, Funnel type and combination type by steel sunken boats and concrete (steel) fishing reefs.

목 차

요약문	i
Summary	ii
표 목차	vi
그림 목차	vi
I. 서 론	1
1. 통영해역 바다 목장화 추진배경	1
2. 바다 목장화 접근 방법	1
3. 통영해역 바다 목장화 도입 기술	2
4. 사업 추진 방향	2
II. 재료 및 방법	3
1. 조사 개요	3
2. 조사 방법	3
가. 어초 시설지에 모여든 어류 위집 형태 분석	3
나. 통영해역에 설치되어 있는 어초의 특성	4
다. 조피블락용 어초제작에 필요한 각 공정별 최적 시공	5
라. 통영해역의 일반 어초 배치도	6
마. 조피블락의 성장 단계별 생태습성에 적합한 어초 시설 배치	6
바. 어초 시설 오차 분석	6
사. 어초 시설의 정밀시공 방법	7
아. 어초 시설 전·후의 표본선 및 이용 어선의 어획효과 구명	7
자. 통영 바다 목장을 위한 어초의 최적 배치도(안)	7
III. 결과 및 고찰	8
1. 어초 시설지에 모여든 어류 위집 형태 분석	8
2. 통영해역에 설치되어 있는 어초의 특성	14
가. 개발 어초의 상세 설명	15
나. 개발 어초의 기술적인 파급 효과	16
3. 조피블락용 어초제작에 필요한 각 공정별 최적 시공	16
가. 상자형어초의 제원	16
나. 상자형어초의 설계도서 작성	17
다. 상자형어초의 열화 요인 및 대책	21

(1) 해양환경에서 콘크리트의 열화 요인	21
(가) 유산염 반응	21
(나) Mg이온 반응	21
(다) 탄산염에 의한 Ca이온 용출	21
(2) 콘크리트내의 철근부식	22
(3) 해양환경에서 콘크리트의 열화 대책	22
(4) 상자형어초의 안정성 검토	23
(가) 활동에 대한 안정성	23
(나) 전도에 대한 안정성	25
4. 통영해역의 일반 어초 배치도	25
5. 조피볼락의 성장 단계별 생태습성에 적합한 어초시설 배치	26
가. 어초배치에 대한 전략	26
나. 조성규모	26
다. 어초배치	28
6. 어초 시설 오차 분석	29
7. 어초 시설의 정밀시공 방법	31
가. 어초 시설시 야기되는 오차범위 산정	31
나. 어초 시설의 정밀 시공방법	32
8. 인공어초 시설 전·후의 표본선 및 이용 어선의 어획효과 구명	33
가. 인공어초 시설 전·후의 표본선에 의한 어획효과	33
나. 인공어초 시설 후 어획효과	33
9. 통영해역 바다 목장화 조성을 위한 최적 배치도(안)	36
가. 인공어초 배치형태에 대한 고찰	36
(1) 어초의 구조	36
(2) 어초의 규모와 배치조건	37
(3) 어초의 시설 높이	37
(4) 어초의 시설 면적	38
(5) 어초단체 혹은 어초군 간의 거리	39
(6) 천연초와 상호관계	39
나. 통영 바다 목장을 위한 어초의 최적 배치도(안)	40
(1) 어초어장 조성 규모 산정	40
(2) 어초어장의 최적 배치도(안)	41
IV. 결 론	46
1. 어초 시설지에 모여든 어류 위집형태 분석	46

2. 통영해역에 설치되어 있는 어초의 특성	46
3. 조피볼락용 어초제작에 필요한 각 공정별 최적 시공	47
4. 통영해역의 일반 어초 배치도	47
5. 조피볼락의 성장 단계별 생태습성에 적합한 어초시설 배치	48
6. 어초 시설 오차 분석	48
7. 어초시설의 정밀시공 방법	49
8. 인공어초 시설 전·후의 표본선 및 이용 어선의 어획효과 구명	49
9. 통영해역 바다 목장화 조성을 위한 최적 배치도(안)	50

참 고 문 헌

List of Tables

Table 1. Response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyeong coastal area from February to December	8
Table 2. Response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyeong fish market from February to August in 1997	11
Table 3. The length and vibration diameter of buoy rope by installation depth of artificial reef	30
Table 4. Catch per unit effort (g/net) from trammel gill nets fished at box reef	40

List of Figures

Fig. 1. Flow chart to creation of marine ranching by artificial reefs.	4
Fig. 2. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea	5
Fig. 3. Composition of response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyeong coastal area from February to December in 1997	13
Fig. 4. Composition of response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyeong fish market from February to August in 1997	14
Fig. 5. Structure of Box reef (3×3×3 m)	15
Fig. 6. Diagram of Top pile attached to the bottom of Box reef	15
Fig. 7. Structure of Box reef (3×3×3 m). It is composed of the outer box and the inner one	16
Fig. 8. Plan view from the bottom (scale: 1/40)	17
Fig. 9. Sectional views of the upper part and the bottom part from Fig. 8 (scale: 1/40)	18
Fig. 10. Reinforced bar diagram of the outer box unit (scale: 1/30)	18
Fig. 11. Detail diagram of the inner box unit of Box reef	19
Fig. 12. Detail diagram of mold of the outer box unit of Box reef	20
Fig. 13. Finished Box reef (3×3×3 m)	20
Fig. 14. Deployment of reefs in Korea	26
Fig. 15. Deployment of artificial reef complex	27
Fig. 16. Deployment of reef unit in a reef set	29
Fig. 17. The moving distance of a barge moored at two positions	31
Fig. 18. Water depth in marine ranching area	32
Fig. 19. Deployment of Box reef in Tongyeong marine ranching area	33
Fig. 20. Views of Box reef installation in Tongyeong marine ranching area	34

Fig. 21. Site map showing locations of artificial reef creation suitable to growth of fishes in Tongyeong marine ranching area	40
Fig. 22. Example of artificial reef creation for shellfish	42
Fig. 23. Example of deployment of artificial reef group (Badug board type)	42
Fig. 24. Example of deployment of artificial reef group (Diamond type)	43
Fig. 25. Migration of red seabream (<i>pagrus major</i>) in Tongyeong coastal area	43
Fig. 26. Example of artificial reef group (Funnel type)	44
Fig. 27. Example of fishing ground creation by combination steel	45

I. 서론

1. 통영해역 바다 목장화 추진배경

통영해역은 주위에 크고 작은 섬들로 둘러싸여 있고, 북쪽에는 고성만이 위치해 있어 옛날부터 동 해역은 영양염이 풍부하여 기초 생산력이 높고, 불락, 참돔 등 각종 어족자원이 많았다. 또한, 어업 및 양식업이 발달하여 타 해역에 비해 어업인의 소득이 높은 곳이었다.

그러나 최근 들어 어로장비 현대화로 인한 어족자원의 남획(濫獲), 육지로부터 산업오·폐수 유입에 의한 오염원의 확산 등으로 해역의 기초 생산력은 급격히 감소하였다. 이로 인해 불락, 참돔 등의 어족 자원량도 크게 줄어들었다. 또한 양식어업도 시설적 부족 등으로 더 이상의 확대는 어려운 실정이다. 이와 같은 현상은 비단 통영해역 뿐만이 아니고 다른 해역에 있어서도 널리 만연되어 있어 이대로 방치할 경우, 우리나라의 어업은 심각한 위기에 직면할 위험에 처해 있다.

따라서 정부에서는 이를 타개하기 위해 우리나라 해역에서의 어업자원 배양과 관리를 체계적으로 수행하여 우리나라 연안해역의 생산력을 지속적으로 향상시킬 수 있는 바다 목장화 사업을 추진하게 되었다.

2. 바다 목장화 접근 방법

바다목장화 조성의 목적은 바다의 생산력을 충분히 이용하거나 그 해역의 생산기구를 재편함으로써 어장을 종합화하고 생산의 효율화를 도모하여 대상 종의 생산력을 향상시키는 데 있다. 유용종의 생산증강을 도모하기 위해서는 먼저 그 해역에 있어서 수용력이 문제가 되며, 원칙적으로는 바다의 수용력은 시간적 측면에서 보면 변동하는 것이지만, 그때 당시의 바다의 물리적 환경과 생물간의 경합에 의해서 포화상태로 되는 과정에서 균형을 유지하려고 한다.

따라서 그 해역에서 특정의 종을 증가시켜 새로운 바다의 생물환경을 조성하기 위해서는 인위적인 수용조건의 개량이 필요하다. 그의 대표적인 방법의 하나로는 어떤 해역에서의 시간적, 공간적 어업생산의 미이용 부분을 유효하게 이용하는 것이다. 이것에 대한 주요한 접근 방법으로는 대상해역을 적극적(직접적)으로 이용하는 방법인 자원첨가 이용형과 소극적(간접적) 이용방법인 잠재자원 이용형을 들 수 있다(日本農林技術會事務局, 1989). 전자는 미이용자원을 증강하고자 할 경우에는 현재의 연쇄계의 수용력안에서 자원을 투입(종묘방류)한다든지, 수용력의 일부를 공간적으로 구획하여 먹이를 투입하여 양식종을 육성(양식)하는 방법을 말한다. 한편, 후자는 현행 연쇄계를 인위적 수단에 의해서 확대한다든지, 혹은 기초생산력을 증강함으로써 간접적으로 자원의 증가를 도모하는 방법

을 말한다. 그러나 어떤 방법으로 대상해역을 개발하여 이용할 것인가에 대한 것은 해역마다 특성이 다르기 때문에 일률적으로 적용하기는 어려우며, 대상해역을 잘 파악하여 그 해역의 특성에 적합한 어장조성 개발방법을 도입해야 한다.

3. 통영해역 바다 목장화 도입 기술

통영해역은 서식 어종이 풍부하여 낚시, 연승, 통발, 유자망 등 다양한 어법이 행하여지고 있으며, 삼중자망, 소형기선저인망 등에 의한 불법 어업도 빈번한 곳이다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이 육지로부터 각종 오염물질이 유입되어 오염으로 인해 해역의 생산력이 크게 저하되어 있다.

이러한 어업실정을 감안할 때 통영해역 바다목장화의 조성에 필요한 기술로는 자원잠재력 이용형에 자원첨가 이용형을 가미한 복합형이 적합하다고 판단된다. 즉, 해역의 기초 생산력을 증가시켜 해역내의 서식 어종의 재생산력의 증강을 도모하는 자원잠재력 이용형에 해역에 서식하고 있는 어종을 대상으로 종묘를 인공적으로 생산하여 방류함으로써 보다 짧은 기간에 자원을 증대시킬 수 있는 자원첨가 이용형의 방법으로 보완한 복합형 기술이다. 전자는 통영해역에 출현하는 어종에 대해 서식 생태 습성을 파악하여 이들 어종의 서식에 필요한 먹이 생물 증대, 산란장 및 자치어 보육장 조성, 어획강도 저하 등을 위해 현행 연쇄계를 인위적 수단으로 개선시켜 산란에서 자치어 및 성어에 이르기까지 자원의 재생산력을 높이는 기술이다. 또한 후자는 통영해역에 서식하는 어종으로서 최근에 급격히 자원량이 감소한 어종을 선택하여 인공적으로 생산한 종묘를 방류하여 짧은 기간 내에 자원을 증강시키는 기술이다. 종묘방류 어종과 관련해서는 양식어종으로 널리 이용되는 비교적 고급 어종인 조피볼락을 주 대상 어종으로 선정하였다.

4. 사업 추진 방향

통영해역 바다 목장화 사업은 자원관리분야, 자원증대분야, 인공어초에 의한 어장조성 분야 등 크게 3개의 분야로 구성되며, 이 중에서 가장 핵심적인 분야는 인공어초에 의한 어장조성분야인데, 이는 앞서 언급한 통영해역 바다 목장화 사업에 필요한 도입기술도 인공어초를 이용하여 달성될 수 있기 때문이다. 즉, 인공어초를 시설함으로써 와류가 발생하여 저층의 풍부한 영양염이 표층까지 전달되고, 이로 인해 먹이 생물의 발생이 풍부하게 되며, 조류의 흐름이 변화되어 오염의 부하량도 경감된다. 또한 서식어종의 생태 습성을 파악하여 수심에 따라 적절히 인공어초를 시설하여 산란장 및 자치어의 보육장, 성어의 성육장의 기능 등을 강화시켜 주게 된다. 이와 함께 불법어업이 성행하는 곳에 어초를 시설하므로써 불법어업의 근절은 물론 남획을 방지함으로써 서식어종의 재생산력을 향상시켜 자원 증대를 이룰 수 있는 것이다. 특히, 자원첨가 이용형 기술과 관련해서는 주 대

상 어종인 조피볼락의 치어가 방류한 후에 높은 생존율을 유지할 수 있도록 하기 위해 조피볼락의 생태 습성에 적합한 어초를 개발하여 어초어장을 조성하기로 하였다. 인공어초에 의한 통영해역 바다 목장화 조성기술의 적용은 1999년부터 2000년까지 2년간에 걸쳐 수행되고 있으며, 제1차 연도인 1999년에는 통영해역 바다 목장화 조성지의 사전조사, 주 대상 어종인 조피볼락용 어초개발, 개발어초의 적정 배치형태 등을 구명하기로 하였다. 또한 제2차 연도인 2000년에는 제1차 연도에서 얻어진 연구결과를 토대로 조피볼락용 인공어초 구조 설계, 제작 시설 등 정밀시공 방법, 시설어초의 효과분석 및 바다목장화 인공어초의 최적 배치(안)를 각각 구명하기로 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사 개요

기능성 인공어초에 의한 어장조성 모델 개발은 크게 3분야로 나누어진다. 첫 번째 분야는 통영해역 바다목장화 주 대상어종인 조피볼락용 어초의 구조 설계를 위한 동 해역에 시설된 기존어초의 특성을 밝히는 것이고, 두 번째는 개발된 조피볼락용 어초의 제작 공정, 배치형태 등 정밀 시공방법을 정립하는 것이며, 세 번째 분야는 시설된 어초의 효과를 분석하여 금후 조성될 어초에 대한 최적 배치도를 작성하는 것이다. 이들의 조사는 근본적으로는 Fig. 1과 같은 개념에 의거 먼저 기존자료를 수집하여 정리하였고, 정리된 자료를 토대로 현장조사를 통하여 필요한 사항을 구명하였다.

2. 조사 방법

가. 어초 시설지에 모여든 어류 위집 형태 분석

어초 시설지에 모여든 어류 위집형태(魚礁性) 분석은 곤리도를 중심으로 통영해역에 출현한 자치어와 성어에 대하여 실시하였다(Fig. 2). 본 연구에서 이용한 자치어 및 성어에 대한 자료는 기존 자료를 이용한 것으로, 자치어의 경우 1997년 2월부터 12월까지 11개월간 조사된 것이며, 성어는 1997년 2월에서 8월까지 통영 어시장에서 조사된 것이다.

어초성은 어초에 대한 정위(定位)의 형태에 의해 3가지형으로 분류하였다. 여기서 각 형별 특징을 살펴보면, I형은 어초에 몸의 대부분 혹은 일부분을 접촉시키는 어종, II형은 몸을 어초에 접촉시키지는 않지만 어초 저면 및 윗부분의 주변을 유영하는 어종, 그리고 III형은 어초로부터 떨어진 표·중층수역에 머무르는 어종을 각각 나타낸다. 그러나 동일형이라도 어초와의 정위 관련 정도는 어종에 따라 그리고 동일 어종이라도 발육단계와 계절에 따라 각각 차이가 있기 때문에 자치어의 어초에 대한 반응특성은 다소 신뢰도

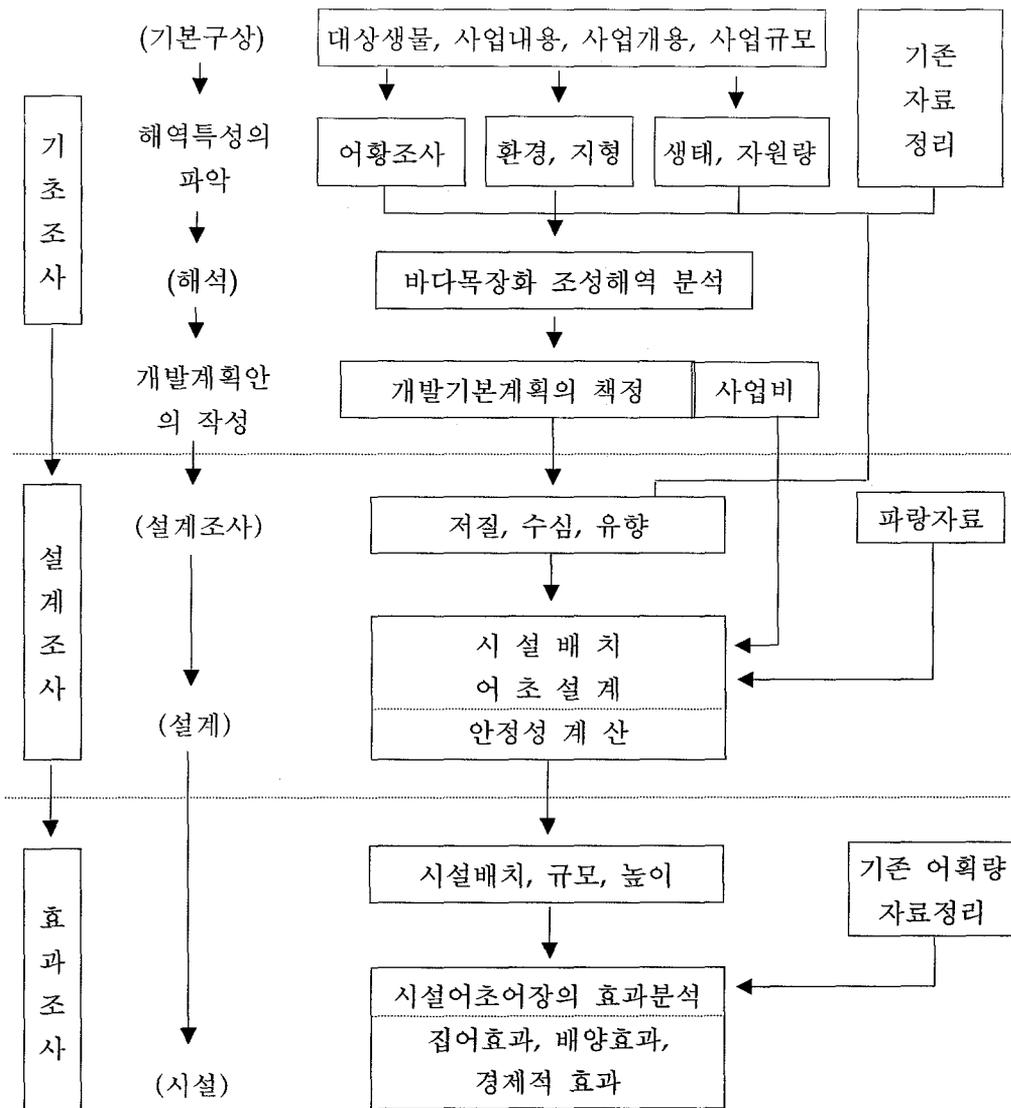


Fig. 1. Flow chart to creation of marine ranching by artificial reefs.

가 떨어지지만, 어초어장 조성시 산란초, 자치어 보육초, 미성어 육성초, 성어 어획초 등 성장 단계별 혹은 생태 습성별로 각 특성에 적합한 어장조성을 해야 하기 때문에 성어와 함께 분류하여 나타냈다.

나. 통영해역에 설치되어 있는 어초의 특성

통영해역에 설치되어 있는 어초는 상자형어초로서 바다 목장화 조성용으로 개발되

있고, 그의 특성(특징)은 조피볼락을 주 대상어종으로 설정하여 설계 제작 및 시설되었으며, 구조적 특성은 생물학적 특징과 공학적 특징으로 나누어 기술하였다. 전자는 조피볼락의 생태적 특성을 반영한 구조적 형태, 그리고 후자는 매몰, 전도, 시공의 용이성 등에 관한 구조의 특성을 각각 의미한다. 본 연구에서는 이들의 특징을 설계도와 함께 제시하면서 기술했다.



Fig. 2. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.

다. 조피볼락용 어초제작에 필요한 각 공정별 최적 시공

조피볼락용 어초제작에 필요한 각 공정별 최적 시공은 상자형어초의 설계도서 작성, 상자형어초의 제작 및 시설, 상자형어초의 열화(劣化) 요인 및 대책, 상자형어초의 안정성 검토 등에 대하여 조사하였다.

상자형어초의 설계도서의 작성은 토목공사표준일반시방서 (1998)에 의거 작성하였고, 설계도서는 설계설명서 및 시방서, 공사예산서, 설계도면으로 구성하였다. 설계도면은 외부상자, 내부상자, 팽이파일로 나누어 작성하였다. 사용재료에 있어서는 외부상자와 팽이파일은 콘크리트, 외부상자는 강재를 사용하였다.

상자형어초의 제작 및 시설과 관련하여 상자형어초의 제원은 외부상자와 내부상자로 나누어 나타내었으며, 세부형상 및 부재의 치수, 두께 등도 함께 나타내었다. 어초중량은 콘크리트를 사용한 외부상자와 강재를 사용한 내부상자를 합산한 것으로 공중중량으로 나타내었다.

한편 해양환경에서 야기될 수 있는 콘크리트의 열화 요인과 강재 부식에 대해 살펴보

고 이에 대한 대책을 구명하였다. 상자형어초는 콘크리트(외부상자)와 강제(내부상자)로 구성되는 복합 구조물이므로 콘크리트와 강제에 대하여 나누어 기술하였다. 콘크리트의 열화는 해수 중에서 유발될 수 있는 요인을 중심으로 유산염반응, Mg이온 반응, 탄산염에 의한 Ca이온 용출, 콘크리트내의 철근부식 등에 대한 메카니즘을 기술하였고, 강제에 대한 열화는 주로 강제 부식만 언급하였다. 한편 상자형어초의 열화에 대한 대책은 제작 등 시공측면에서 기술하였다.

상자형어초의 안정성은 활동(活動)과 전도(顛倒)에 대해서만 검토하였다. 활동에 대한 안정성은 어초에 작용하는 유체력(F_0) 보다도 해저와 어초의 마찰저항이 크면 안전하다고 할 수 있으므로 실제 상자형어초가 시설될 통영시 곤리도 해역의 환경조건을 설정하여 검토하였다. 즉 상자형어초에 작용하는 유체력(F_0)을 구한 후, 상자형어초의 공중중량(W)과 상자형어초의 해저 마찰저항 값을 곱한 값이 어초에 작용하는 유체력(F_0)에 활동에 대한 안전을 1.2를 곱한 값보다 클 경우 안전한 것으로 평가했다. 한편 전도에 대한 안정성은 전도에 대한 저항 모멘트가 전도모멘트보다 크거나, 수중에서 어초의 자중 및 어초에 작용하는 유체력(F_0)의 작용선이 저면에 있으면 안전하다고 할 수 있다. 따라서 전도에 대한 저항모멘트 값이 어초에 작용하는 유체력(F_0)과 전도에 대한 안전을 1.5를 곱한 값보다 큰 값을 갖는지를 비교하여 안정성을 평가하였다.

라. 통영해역의 일반 어초 배치도

통영해역의 일반 어초 배치도는 “인공어초시설사업집행및관리규정” (해양수산부, 2000)에 의거 작성하였다. 배치도에는 어초단체 (魚礁單體), 단위어초 (單位魚礁)간의 거리를 각각 그림으로 나타내었다.

마. 조피블락의 성장 단계별 생태습성에 적합한 어초 시설 배치

인공어초의 시설에 있어서 높이 및 면적 등의 어초규모에 필요한 요인으로 이용선박, 척수, 출어일수, 일일 척당 어획량, 기존어초 시설 어장의 어선 수용능력 등을 정하였다. 그러나 본 연구에서는 이들의 모든 요인을 정확히 조사하는 데는 어려움이 있어, 곤리도를 중심으로한 통영시 중화동, 연대도, 비진도, 매물도, 연화도, 추도, 화도 등의 7개 지역에서 어업활동을 하고 있는 어업인을 모니터링 요원으로 선정하여 생산된 자료를 활용하였다. 한편, 어초배치와 관련하여 본 연구에 있어서는 조피블락의 생태, 시설수심, 조류는 현장조사 자료와 기존 자료를 이용하였으며, 어도 (魚道) 및 이용어법은 현장 청취조사 자료를 각각 이용하였다.

바. 어초 시설 오차 분석

인공어초의 시설시 유발되는 오차는 크게 측량오차(위성항법 장치 등), 인공어초 시

설지점에 설치하는 부표오차, 작업선의 계류오차, 작업선의 기울기에 의한 오차, 해·조류의 표류에 의한 오차 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 이들 오차에 대한 현상을 분석하고, 이에 대한 대책을 기술하였다.

사. 어초 시설의 정밀시공 방법

인공어초 시설시 야기되는 오차를 줄이기 위해 연안역에서 예상되는 오차요인을 분석하고 이에 대한 대책을 제시했다. 본 연구에서는 통영해역 바다 목장화 조성지가 내만에 위치한다는 점을 감안하여 GPS에 의한 오차, 부표 오차, 작업선 계류위치에 의한 오차에 대해서만 언급하였다.

아. 어초 시설 전·후의 표본선 및 이용 어선의 어획효과 구명

바다목장화 조성지역에 대한 효과평가를 위해 목장화 조성지를 포함한 주변 해역에서 조업을 하고 있는 선박을 대상으로 표본추출하여 어업실태조사를 행하였다. 표본선 조사는 연승 조업을 많이 하고 있는 경남 통영시 산양읍 미남리(척포, 물개마을)와 외줄낙시를 많이 하고 있는 중화리 어업인에게 각각 의뢰하였다.

이들 지역을 선정하게 된 이유는 바다 목장화 조성지역을 이용하는 11개 어촌계 중에서 미남리와 중화리 어촌계가 바다 목장화에서 가장 중요하게 고려하고 있는 연승과 낚시를 전업으로 하는 어업인이 많기 때문이었다. 조사 내용과 관련해서는 목장화 조성지역과 주변해역에서의 조업일수, 어획어종, 어획량 등을 조사하여 목장화 지역에 대한 효과를 어초 비시설지역 혹은 기존 인공어초나 자연초 어장과 비교 분석을 하였다. 조사 의뢰자는 조업경험이 풍부한 40~50대 연령층을 대상으로 하였으며, 연승어업 5명, 낚시어업 5명을 각각 선정 의뢰하였다. 기록방법은 미리 배포해 준 조사야장에 현장에서 기록토록 하였다. 이와 함께 시험조업에 의한 어획조사도 병행하였으며, 조사항목은 어획량, 어종수 등이다. 조사는 통영해역 바다목장화 조성 예정지역내의 곤리도 동쪽지역에서 실시하였으며, 조사에 사용된 어구는 삼중자망(길이 30 m, 높이 3 m)으로 1회에 5폭을 사용하였다. 어구 설치는 일몰시에 투망하고 일출시에 양망하였으며, 어구침지 시간은 13시간 정도였다. 어획량은 폭당 어획량으로 환산하였고, 어종수는 사용 폭수에 대하여 모두 조사하였다.

자. 통영 바다 목장을 위한 어초의 최적 배치도(안)

어초 배치형태는 어초단체의 구조형태, 어초 시설높이, 시설면적, 단위어초의 규모, 단위어초간에 거리, 천연초와의 관계 등에 따라 어초 시설효과는 크게 달라진다. 따라서 인공어초의 최적 배치도(안)를 작성함에 있어 이들 요인을 명확히 분석하고 이들 자료를 토대로 통영해역 바다 목장화 조성에 필요한 조건을 확보하여 어초의 최적 배치도(안)를 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 어초 시설지에 모여든 어류 위집 형태 분석

바다 목장화 조성에 의한 수산자원 조성효과를 극대화시키기 위해서는 어장의 특성을 정확히 파악해야 한다. 여기서 어장의 특성이란 수심, 저질, 조류 등 물리적인 요소와 출현어종, 먹이생물 등 생물적 요소, 이용어법 등 사회적 요소 등이 복합적으로 작용하여 어획효과의 대소로 나타난 현상으로 설명할 수 있다. 이 중에서 가장 중요한 요소로는 출현어종을 들 수 있으며, 이것은 양적 개념과 관련 있다고 생각된다. 따라서 어초어장 조성 후 어획효과의 향상은 출현어종의 어초성을 얼마나 정확히 어초의 구조 및 배치형태에 반영하였느냐에 달려있다고 볼 수 있다.

Table 1은 1997년 2월부터 12월까지 곤리도 인근 해역에서 채집된 자치어에 대한 어초성을 분류한 표이다. 동 해역에서 채집된 자치어는 모두 76종이었으며, 이중 접촉자극이 강한 I형 어류는 조피볼락, 볼락 등 19종이었다. 그 다음은 시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류로 참돔, 감성돔 등 9종이었다. 한편, 1997년 2월부터 8월까지 통영 어시장에서 조사된 어류의 어초성을 보면, 전체 89종 중 I형은 조피볼락, 볼락 등 19종, II형은 참돔, 농어 등 21종, III형은 방어, 고등어 등 8종으로 나타났다 (Table 2).

동 조사에서 특이했던 점은 조피볼락의 경우 자치어 및 성어 모두가 관찰되었으나, 참돔의 경우는 자치어는 관찰되지 않았다는 것이다. 이것은 참돔의 산란이 곤리도 이외의 해역에서 이루어지고 있다는 추측을 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 통영해역에 출현한 어종이 I형과 II형이 주종이라는 결과에 근거하여 조피볼락 및 참돔 전용 어초를 개발하였다(Fig. 2, 3).

Table 1. Response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyeong coastal area from February to December

Pattern of fish response	Species	Period of observation											
		Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
I	붕장어 <i>Conger myriaster</i>	○	○	○									
	볼락 <i>Sebastes inermis</i>	○	○	○	○								
	개볼락 <i>Sebastes pachycephalus</i>	○		○									
	조피볼락 <i>Sebastes schlegelii</i>		○		○			○					
	누루시볼락 <i>Sebastes vulpes</i>			○									
	우럭볼락 <i>Sebastes hubbsi</i>								○		○		
	황점볼락 <i>Sebastes oblongus</i>												

Table 1. Continued

Pattern of fish response	Species	Period of observation											
		Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
I	섬뱅이 <i>Sebastiscus marmoratus</i>				○								
	쥐노래미 <i>Hexagrammos otakii</i>	○	○	○									○
	노래미 <i>Hexagrammos</i>												○
	세줄베도라치 <i>Ernogrammus hexagrammus</i>	○	○	○	○								
	큰줄베도라치 <i>Stichaeopsis epallax</i>			○									
	점베도라치 <i>Pholis crassispina</i>			○									
	베도라치 <i>Pholis nebulosa</i>		○	○									
	가막베도라치 <i>Enneaptrygus etheostomus</i>							○					
	청베도라치 <i>Parablennius yatabei</i>				○	○		○		○			
	앞동갈베도라치 <i>Omobranchus elegans</i>					○		○					
	두줄베도라치 <i>Petroscirtes breviceps</i>							○	○				
	점넙치 <i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>					○		○					
II	달고기 <i>Zeus faber</i>												
	감성돔 <i>Acanthopagrus schlegeli</i>				○	○		○					
	붉돔 <i>Evynnis japonica</i>							○					
	청돔 <i>Sparus sarba</i>					○							
	네줄벤자리 <i>Terapon theraps</i>							○					
	돌돔 <i>Oplegnathus fasciatus</i>							○					
	자리돔 <i>Chromis notatus</i>							○					
	그물코쥐치 <i>Rudrius ercodes</i>							○	○				
	쥐치 <i>Stephanolepis cirrifer</i>							○					
III	멸치 <i>Engraulis tanakai</i>	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
	전어 <i>Konosirus punctatus</i>					○							
기타	셋줄멸 <i>Sparatelloides gracilis</i>			○									
	물꽃치 <i>Iso flosmaris</i>							○					○
	전력새날치 <i>Opselurus heterurus doederleini</i>					○							
	학꽂치 <i>Hyporhamphus sajori</i>					○							
	큰가시고기 <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>	○											
	실고기 <i>Syngnathus schlegeli</i>				○	○		○	○	○			
	살살치 <i>Scorpaena neglecta</i>												
	양태 <i>Platycephalus indicus</i>					○		○					
	알롱횡대 <i>Furcina ishikawae</i>	○	○										
	무늬횡대 <i>Furcina oshimae</i>	○	○	○									
	가시꼭정이 <i>Ocynetes maschalis</i>	○											
	돌딱망둑 <i>Pseudoblennius percoides</i>	○	○		○				○		○	○	
	꿈치 <i>Liparis tanakai</i>	○	○	○									
	불기우럭 <i>Malakichthys wakiyae</i>								○				
	청보리멸 <i>Sillago japonica</i>							○					
	주둥치 <i>Leiognathus nuchlis</i>							○					
	만새기 <i>Coryphena hippurus</i>												

Table 1. Continued

Pattern of fish response	Species	Period of observation											
		Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
기타	육점날개 <i>Ophisthocentrus zonope</i>			○									
	까니리 <i>Ammodytes personatus</i>	○	○										
	푸령통구멍 <i>Gnathagnus elongatus</i>									○			
	날뚝양태 <i>Repomucenus beniteguri</i>			○	○	○		○	○	○			
	문절망둑 <i>Acanthogobius flavimanus</i>		○	○		○							
	숨이망둑 <i>Apocryptodon punctatus</i>							○					
	꼭저구 <i>Chaenogobius urotaenia</i>							○					
	도화망둑 <i>Cheturichthys hexanema</i>					○							
	댕기망둑 <i>Eutaeniichthys gilli</i>		○										
	사백어 <i>Leucopsarion petersii</i>		○										
	미끈망둑 <i>Luciogobius guttatus</i>				○								
	큰미끈망둑 <i>Luciogobius grandis</i>			○	○	○							
	갈문망둑 <i>Rhinogobius giurinus</i>					○		○					
	말어 <i>Rhinogobius brunneus</i>							○	○				
	바닥물절 <i>Sagamia geneionema</i>	○											
	풀망둑 <i>Synechogobius hasta</i>		○	○	○								
	개소갱 <i>Taenioides rubicundus</i>				○								
	아작망둥 <i>Tridentiger barbatus</i>					○							
	황줄망둑 <i>Tridentiger nudicervicus</i>							○					
	검정망둑 <i>Tridentiger obscurus</i>		○	○	○	○		○					
	등설망둑 <i>Parioglossus dotui</i>					○		○					
	병어 <i>Pampus argenteus</i>									○			
	빨갱이 <i>Ctenotrypauchen microcephalus</i>							○	○				
	용가자미 <i>Cleisthenes pinetorum</i>				○								
	물가자미 <i>Eopsetta griogrjewi</i>												○
	참가자미 <i>Limanda</i>		○										
	문치가자미 <i>Limanda yokohamae</i>	○	○										
	참서대 <i>Cynoglossus joyneri</i>							○					
	복섬 <i>Takifugu niphobles</i>			○				○					

Table 2. Response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyeong fish market from February to August in 1997

Patterns of fish response	Species	Period of Observation			
		Feb.	May	June	Aug.
I	볼기우럭 <i>Malakichthys wakiyae</i>	○			
	우럭볼락 <i>Sebastex hubbsi</i>	○		○	
	넙치 <i>Paralichthys olivaceus</i>	○	○	○	○
	조피볼락 <i>Sebastse thompsoni</i>	○	○	○	○
	노래미 <i>Hexagrammos agrammus</i>	○	○		○
	볼볼락 <i>Sebastes thompsoni</i>	○			○
	봉장어 <i>Conger myriaster</i>	○	○	○	○
	놀래기 <i>Halichoeres tenuispinnis</i>				○
	섬뱅이 <i>Sebasticus marmoratus</i>	○		○	○
	게르치 <i>Scombrops boops</i>	○			
	볼락 <i>Sebastes inermis</i>	○		○	○
	그물베도라치 <i>Dictyosoma burgeri</i>	○			
	베도라치 <i>Pholis neblosa</i>	○		○	
	개볼락 <i>Sebastes pchycephalus pachycephalus</i>		○		
	먹장어 <i>Eptatretus burgeri</i>		○		
	청베도라치 <i>Parablennius yatabei</i>				○
	쥐노래미 <i>Hexagrammos otakii</i>		○	○	
	등가시치 <i>Zoarces gilli</i>			○	
	다금바리 <i>Niphon spinosus</i>			○	
II	홍감팽 <i>Helicolenus hilgendorfi</i>	○			
	옥돔 <i>Branchiostegus japonicus</i>	○	○		
	농어 <i>Lateolabrax japonicus</i>	○	○	○	○
	참돔 <i>Pagrus major</i>	○	○	○	○
	감성돔 <i>Acanthopagrus schlegeli</i>	○	○	○	○
	망상어 <i>Ditrema temmincki</i>	○		○	○
	황돔 <i>Dentex tumifrons</i>	○	○		
	쥐치 <i>Stephnolepis cirrifer</i>	○		○	○
	달고기 <i>Zeus faber</i>	○	○		
	자리돔 <i>Chromis notata</i>	○			
	범돔 <i>Microcanthus strigatus</i>	○			
	보구치 <i>Argyrosomus argentatus</i>	○	○	○	
	수조기 <i>Nibea albiflora</i>		○		
	흑돔 <i>Semicossyphus reticulatus</i>		○	○	
	쌍둥가리 <i>Parapercis sexfaxciatus</i>	○	○	○	
	용치놀래기 <i>Halichoeres poecilopterus</i>			○	○
	민달고기 <i>Zebiosus nebulosa</i>		○		
	군평선이 <i>Hapalogeny mucronatus</i>	○		○	
	능성어 <i>Epinephelus septemfasciatus</i>			○	
	말쥐치 <i>Thamnaconus fasciatus</i>		○	○	○
돌돔 <i>Oplegnathus fasciatus</i>			○	○	

Table 2. Continued

Patterns of fish response	Species	Period of Observation			
		Feb.	May	June	Aug.
Ⅲ	방어 <i>Seriola quinquerdiata</i>	○	○		
	전갱이 <i>Trachurus japonicus</i>		○		○
	전어 <i>Konosirus punctatus</i>	○	○	○	○
	고등어 <i>Scomber japonicus</i>			○	○
	잣방어 <i>Seriola dumerilii</i>			○	
	멸치 <i>Engraulis japonicus</i>			○	
기타	두툽상어 <i>Scoyliorhinus torazame</i>			○	
	실고기 <i>Syngnathus schlegelii</i>			○	
	국매리복 <i>Takifugu vermicularis</i>	○			
	얼룩통구멍 <i>Uranoscopus japonicus</i>	○			
	푸렁통구멍 <i>Gnathahnus elongatus</i>	○			
	꼬마달재 <i>Lepidotrigla guentheri</i>	○	○		
	용가자미 <i>Hipoglossoides pinetorum</i>	○			
	망둥어류 <i>Gobiidae sp.</i>	○			
	송어 <i>Mugil cephalus</i>	○	○	○	
	아귀 <i>Lophiomus setigerus</i>	○		○	
	청어 <i>Clupea pallasii</i>	○		○	
	문치가자미 <i>Pleuronectes yokohamae</i>	○			
	살살치 <i>Scorpaena izensis</i>	○	○		
	삼세기 <i>Hemirhamphus villosus</i>	○		○	
	성대 <i>Chelidonichthys spinosus</i>	○		○	
	꼼치 <i>Liparis tanakai</i>	○			
	꼬치고기 <i>Sphyrnaena pinguis</i>			○	
	덕대 <i>Pampus echinogaster</i>	○		○	
	노랑각시서대 <i>Zebrias fasciatus</i>	○			
	홍어 <i>Raja porosa</i>	○	○	○	
	찰가자미 <i>Microstomus achne</i>	○			
	바다메기 <i>Arius sp.</i>		○		
	도다리 <i>Pleuronichthys cornutus</i>		○	○	
	그물코쥐치 <i>Rudarius ercodes</i>				○
	갈치 <i>Trichiurus lepturus</i>				○
	학꽂치 <i>Hypohapus sajori</i>				○
	참서대 <i>Cynoglossus joyneri</i>				○
	황아귀 <i>Lophius litlon</i>		○		
	졸복 <i>Takifugu pardalis</i>		○	○	
	붉감펍 <i>Sebastiscus albofasciatus</i>		○		

Table 2. Continued

Patterns of fish response	Species	Period of Observation			
		Feb.	May	June	Aug.
기타	양태 <i>Platycephalus indicus</i>		○	○	
	가라지 <i>Decapterus maruadsi</i>		○		
	검복 <i>Takifugu porphyteus</i>			○	
	까치복 <i>Takifugu xanthopterus</i>			○	
	복섬 <i>Takifugu niphobles</i>			○	○
	흰줄망둑 <i>Pterogobius zonoleucus</i>			○	○
	눈볼대 <i>Doederleinia berycoides</i>		○	○	○
	미역치 <i>Hypodytes rubripinnis</i>			○	
	물가자미 <i>Eopsetta grigorjewi</i>		○		
	날치 <i>Prognichthys agoo</i>			○	
	청보리멸 <i>Sillago japonica</i>	○		○	
	가시고기 <i>Gasterosteus aculeatus aculeatus</i>			○	
노랑촉수 <i>Upeneus bensasi</i>			○		

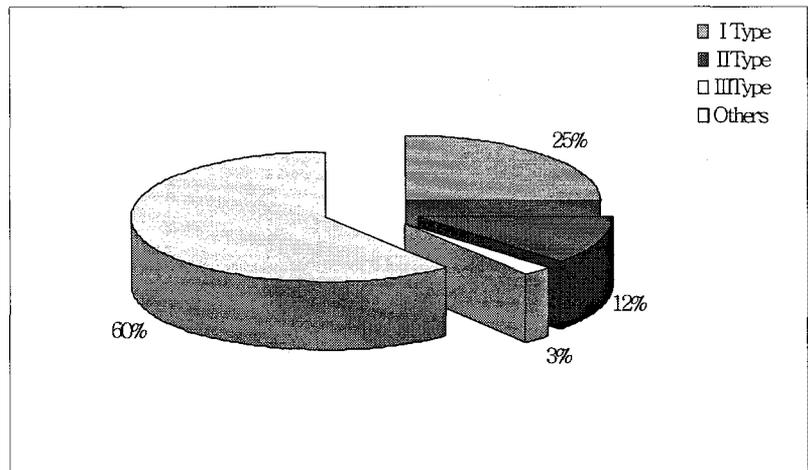


Fig. 3. Composition of response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyeong coastal area from February to December in 1997.

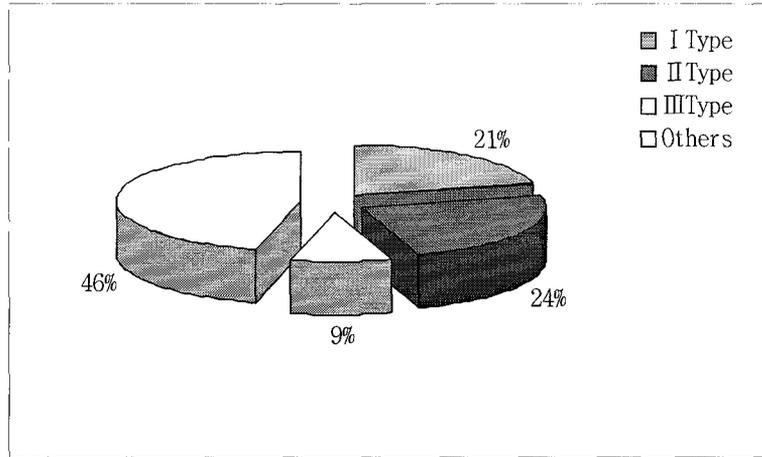


Fig. 4. Composition of response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyeong fish market from February to August in 1997.

2. 통영해역에 설치되어 있는 어초의 특성

통영해역 중 바다 목장화 주변에 시설된 어초는 주로 사각어초 (2×2×2 m), 반구형어초 (ø1.3×2.0 m)이며, 이들 어초에 대한 자료는 각종 보고서 (국립수산진흥원, 1989, 1992)에 기술되어 있기 때문에 본 연구에서는 상자형어초에 대해서만 기술하고자 한다. 본 연구에서 개발된 조피불락용 상자형어초 (3×3×3 m)는 지금까지 개발된 인공어초와 달리 특정 어종(조피불락, 참돔) 생태 및 저질 등 서식환경을 고려하여 고안된 것이며, 내부 구조는 은신처가 많이 확보될 수 있도록 부재(部材) 간격을 좁게 설계하여 방류된 조피불락 치어가 포식어에게 식해(食害)되지 않도록 하였다. 그리고 외부 구조는 어초 바깥면을 면구조로 하여 풍부한 음영을 갖도록 함으로써 미성어, 성어 등의 서식 및 산란에 적합하도록 하였다.

또한, 어종에 따라서는 서식 수층이 상이한 것에 착안하여, 동일 어초의 구조 형태를 이원화 시켜 높이가 2 m 이하인 부분은 주축성이 강하고 음영을 좋아하는 조피불락 등과 같은 어류의 서식에 적합한 면구조를 선호하는 서식설계인자로 채택하였고, 2 m 이상은 시각 및 청각 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 들돔 및 농어 등의 어류 서식에 적합한 테구조로 설계하여 만들었다(Fig. 5).

특히, 우리나라 연안해역은 해류 및 조류의 흐름이 빠른 곳이 많고 저질은 대부분 니질 함량이 많아 기존 어초의 경우 구조적으로 매몰이나 활동 및 전도에 대한 대책이 미흡한 실정을 감안하여 본 개발 어초에서는 어초 시설 후 매몰 부위를 팽이파일이 감당하도록 하였으며 또한 이것을 기초로 하여 활동 및 전도에 안정 될 수 있도록 어초 저면에 팽이파일을 고안하여 부착하였다(Fig. 6).

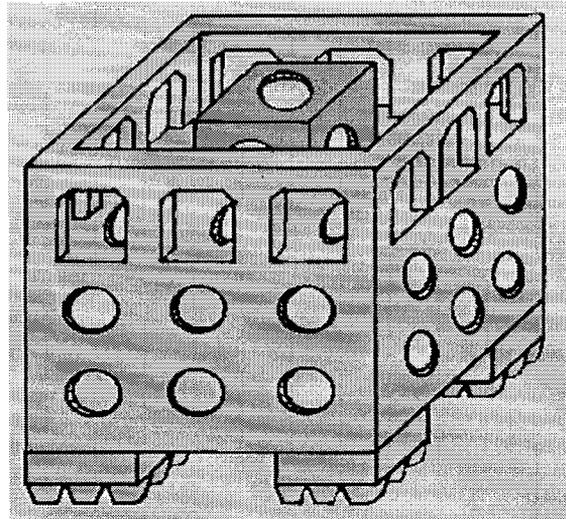


Fig. 5. Structure of Box reef (3×3×3 m).

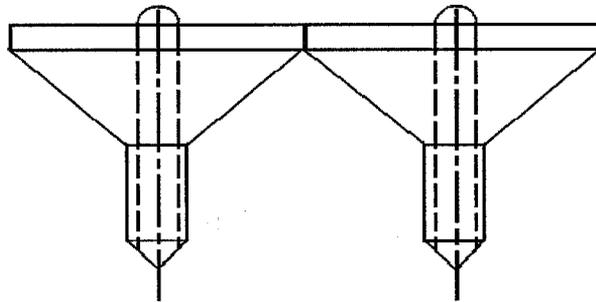


Fig. 6. Diagram of Top pile attached to the bottom of Box reef.

가. 개발 어초의 상세 설명

조피볼락용 상자형어초(3×3×3 m)는 Fig. 5에서 나타난 바와 같이, 저면은 어초 시설 시 자중에 의한 매몰을 최소화할 수 있도록 저면의 모서리 부분 4곳에 각각 팽이파일 (Fig. 6)을 부착하였고, 중간부(어초 높이 0~2 m)은 저면을 제외하고는 전 부분을 격벽으로 하여 음영을 많이 해줌으로써 조피볼락 등과 같은 음영을 좋아하고, 주축성이 강한 어류의 생태습성에 적합하도록 하였다. 한편, 윗부분(어초 높이 2~3 m) 중 바깥쪽은 부재 간격을 약 66 cm인 테구조로 설계되어 있어 상대적으로 하부보다 공간 용적을 많이 하여 어류의 시각 및 청각자극의 유발률을 높게 해줌으로써 이들 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔, 농어 등의 어류 위집에 적합하도록 하였다. 또한 상부(어초 높이 2~3 m)의 중앙에는 강제상자(1.2×1.2×1 m)를 결합하여 내부로 흘러 들어온 유체를 차단시켜 상하, 좌우로 흐름을 바꿔줌으로서 와류 혹은 지형과의 유발을 극대화하였고, 상자내부는 자치어들에게 은신처를 제공하여 성어들로부터 식해되지 않도록 하였다. 특히,

어초 외부 구조형태 중 밑부분을 제외한 저면에서 2 m까지는 격벽 내에 원형구멍, 높이 2~3 m까지는 테구조 내에 다각형 구멍을 각각 설치하여 어초 설치 후 위집된 어류가 어초의 내·외부를 자유롭게 출입할 수 있도록 하였고, 어초에서의 유체의 흐름을 원활하게 하여 어초의 전도를 방지토록 하였다.

나. 개발 어초의 기술적인 파급 효과

조피블락 대상 상자형어초는 구조를 이원화하여 치어 및 성어의 서식에 적합하도록 설계하였고, 대상 어종의 생태습성 및 해역의 저질조건을 구조형태에 최대한으로 반영한 최신행 어초로 바다 목장화 해역에 시설되어 수산자원 조성에 크게 기여할 것이다. 또한, 동 어초에 적용된 설계기법은 금후 어초 설계자들에게 기초 자료로 크게 활용될 것으로 기대된다.

3. 조피블락용 어초제작에 필요한 각 공정별 최적 시공

가. 상자형어초의 제원

상자형어초는 외부 상자와 내부상자로 구성되며, 내부상자는 다시 사각형 틀과 뚜껑 모양의 판으로 이루어진다. 어초의 사용재료와 관련하여 외부상자는 콘크리트, 내부상자는 강재를 사용하였다. 크기를 살펴보면 외부상자는 3×3×3 m이고, 내부상자 중 사각형

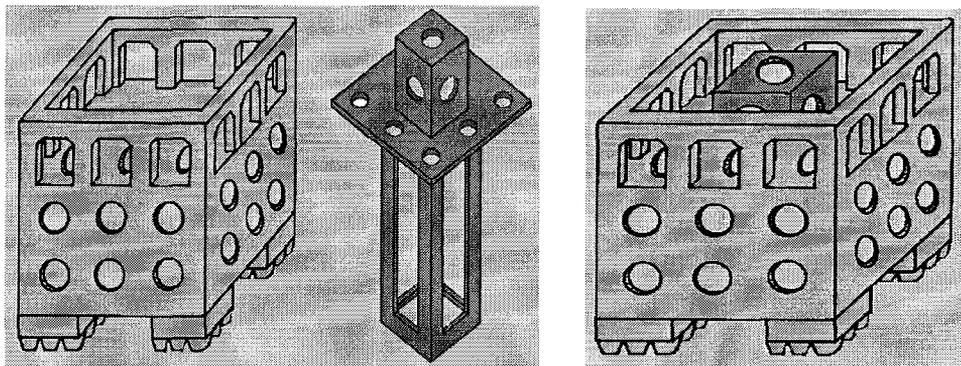


Fig. 7. Structure of Box reef (3×3×3 m). It is composed of the outer box and the inner one. The left indicates detail drawing of the inner box.

틀의 경우 1.17×1.17 m, 뚜껑모양의 판은 2.50×2.50 m이다. 상자형어초의 세부형상의 크기를 보면 외부 격벽에 위치한 사각창은 0.67×0.75 m, 원형창은 ϕ 0.50 m이다. 한편 어초 저면에 부착한 팽이파일은 상부직경이 ϕ 0.50 m, 높이가 0.40 m의 크기로 하였다. 부재의 두께는 외부상자의 경우 0.25 m로 하였고, 내부상자의 경우 사각형 틀은 L형강 (10×10 cm), 뚜껑모양의 판(강판)은 약 6 mm 이다 (Fig. 7). 어초의 공중중량은 16.61톤이며, 세부적으로는 콘크리트를 사용한 외부상자의 중량은 13.01톤, 강제를 사용한 내부상자는 3.6톤이다.

나. 상자형어초의 설계도서 작성

상자형어초는 외부상자, 내부상자 그리고 어초 저면에 부착한 팽이파일로 구성된다. 사용 재료는 외부상자와 팽이파일은 콘크리트, 내부상자는 강제를 각각 사용하였다. 크기는 3×3×3 m로 하였고, 외부상자와 내부상자의 부재간격은 1 m 이내로 하였다. 평면도 (Fig. 8)에서와 같이 내부상자는 제작 후 외부상자에 조립할 수 있도록 하였다. 시설 후 어초의 구조적 안정성을 확보하기 위하여 팽이파일을 각 3개씩 결합하여 어초 저면의 모서리 4부분에 부착하였다 (Fig 9).

외부격벽에는 저면에서 2 m까지는 ϕ 0.50 m의 원형창을 각면에 6개, 그리고 2~3 m의 어초상부에는 3개의 사각창을 각각 설치하였다. 외부상자에는 강제로 제작한 내부상자를 고정시킬 수 있도록 각 면에 2개씩 돌출면을 주었다.

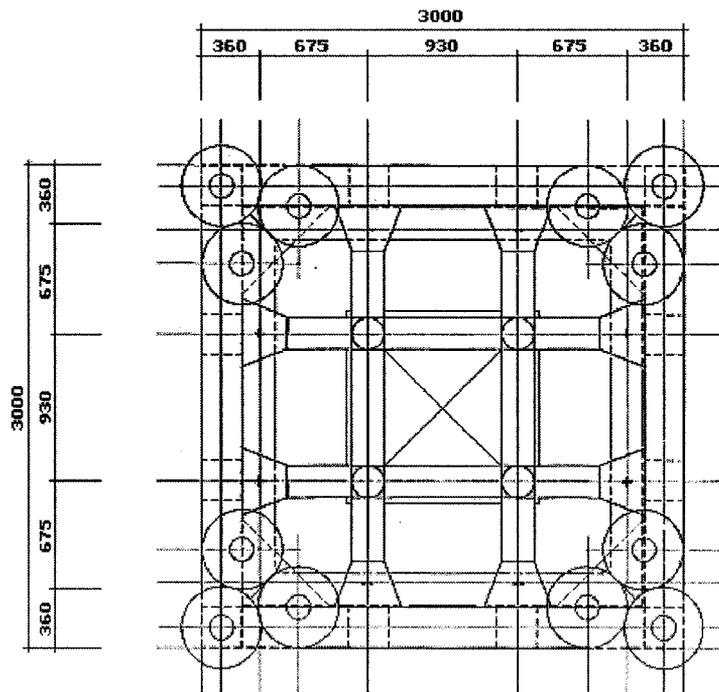


Fig. 8. Plan view from the bottom (scale: 1/40).

그리고 외부상자 안쪽에 위치한 들출부에 $\phi 16$ mm 볼트를 사용하여 내부상자를 고정시켰다. 한편 저층의 팽이파일은 3개를 서로 밀착시켜 1개 세트로 구성시킨 후, 외부상자 저면에 설치한 앵커볼트로 조여서 고정시켰다. 외부상자의 철근 배근은 철근 피복두께가 5 cm 이상 되도록 하였다. 그리고 격벽 부분은 원형창 주위로 주철근을 좌우 45°각도로 교차하여 배근하였다(Fig. 10).

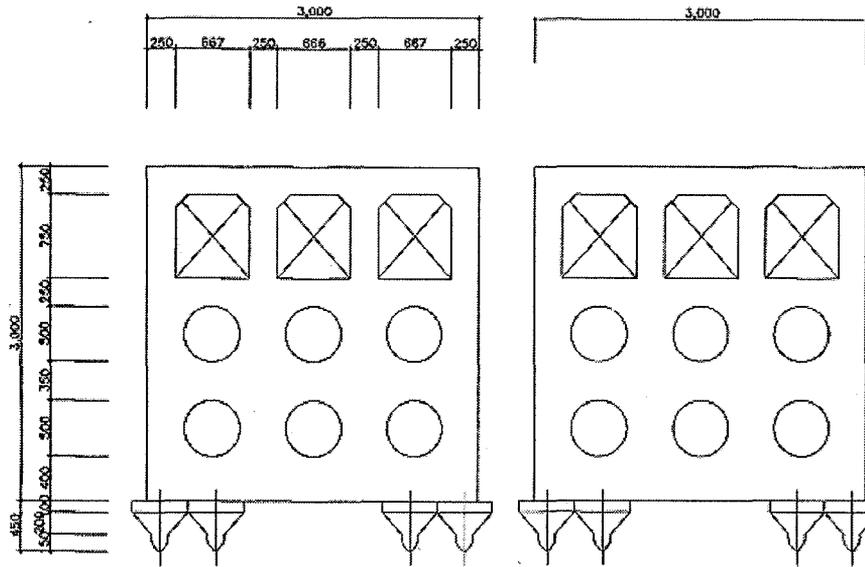


Fig. 9. Sectional views of the upper part and the bottom part from Fig. 8 (scale: 1/40).

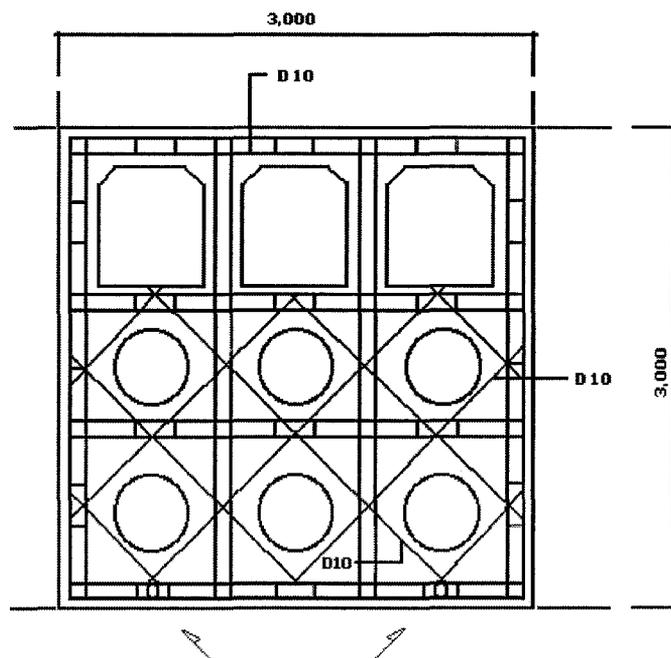


Fig. 10. Reinforced bar diagram of the outer box unit (scale: 1/30).

그리고 외부상자 저면에는 팽이파일을 부착시킬 수 있도록 저면 모서리 부분에 현치 형태로 상자 안쪽으로 약 45°각도의 사선으로 철근을 배치하였다. 외부상자에 사용된 주철근은 D13 이형철근을 사용하였고, 띠철근은 D10 이형철근을 각각 사용하였다. 내부상자의 경우 상부에 6 mm 강판을 사용하였고, 각 면에는 $\phi 0.50$ m의 원형창을 설치하였다. 저면은 두께 7 mm의 L형강(10×10 cm)으로 구성된다(Fig. 11).

외부상자 제작을 위한 거푸집은 콘크리트 타설과 탈형이 용이하도록 하였고, 원형창과 사각창 주위에는 콘크리트의 충진이 용이하도록 거푸집 외판과 내판의 경사각이 있도록 하였다. 또한 팽이파일의 부착이 용이하도록 하기 위해 외부상자를 거꾸로 타설할 수 있도록 하였다(Fig. 12). 설계도서에 의거 상자형어초는 모두 25기가 제작되었다(Fig. 13). 앞에서 언급한 바와 같이 상자형어초는 어초의 구조 형태를 이원화한 것이 다른 어초와 크게 다른 점이다.

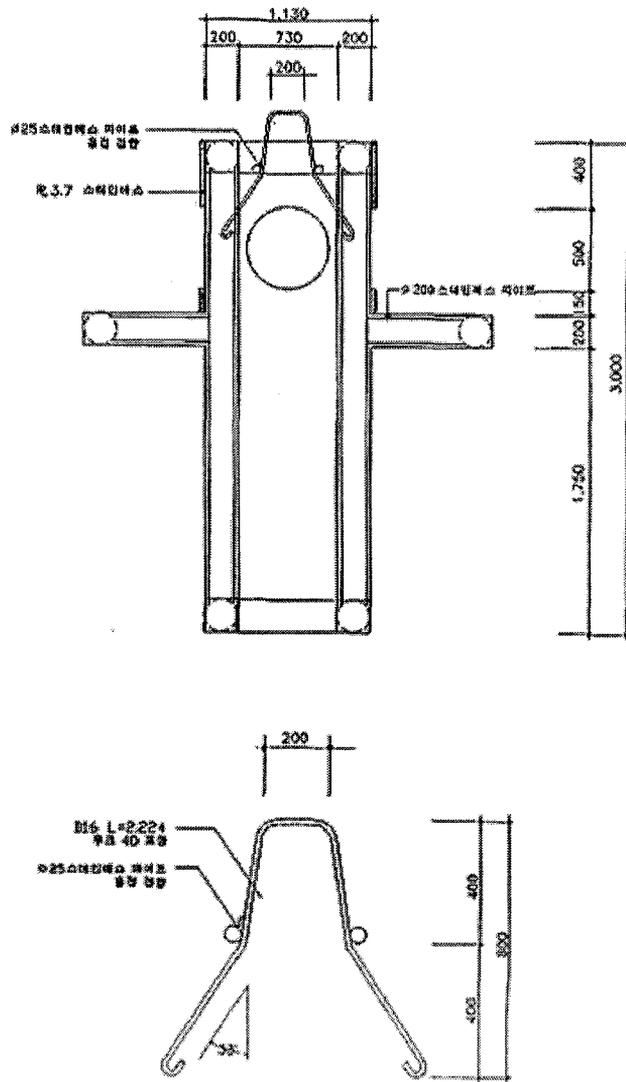


Fig. 11. Detail diagram of the inner box unit of Box reef.

다. 상자형어초의 열화 요인 및 대책

수중에 시설된 인공어초용 콘크리트나 해면 상에 시설된 방파제용 콘크리트의 경우 등 해양에 시설된 콘크리트 구조물은 시멘트 수화생성물과 해수에 포함된 화학성분이 반응하여 콘크리트 수명에 해로운 화학반응을 일으킨다. 또한 콘크리트에서 습윤과 건조의 반복작용, 동결작용, 철재의 부식 등에 의해 콘크리트내의 결정압이 생성되거나 혹은 알칼리골재반응, 과도나 부체 등에 의한 물리적 침식 등 물리·화학적 열화요인에 의해서도 열화가 일어난다 (Mehta, 1991). 해양에서의 콘크리트의 열화는 복합적으로 작용하나 경우에 따라서는 단일 요인에 의해서도 영향을 받는다.

(1) 해양환경에서 콘크리트의 열화 요인

해양에서의 콘크리트의 열화 요인은 구조물의 시설위치에 따라 크게 달라진다. 여기에서는 인공어초와 같이 수중에 시설되는 구조물에 한정하여 열화요인을 살펴보고자 한다.

(가) 유산염 반응

유산염 반응은 해수에 용존된 SO_3 이온 농도가 $1,500 \text{ mg/l}$ 보다 높은 경우 일어난다. 유산염 반응은 유산염이 콘크리트 중의 Ca(OH)_2 나 C_3A 와 반응하여 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (석고)나 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (Ettringite)를 생성하여 팽창을 유발하는 반응을 말한다. 유산염 반응에서 생성되는 석고나 Ettringite는 원래의 화합물보다 훨씬 큰 체적을 갖게 되어 콘크리트를 파괴하게 된다. 그러나 유산염 반응은 Ettringite에 의한 팽창의 경우 OH^- 이온이 Cl^- 이온으로 대체되는 환경에서는 억제되므로 실제 해양환경에서는 쉽게 일어나지 않는다.

(나) Mg이온 반응

해양환경에서 콘크리트에 비결합 Ca(OH)_2 가 존재하면 Mg이온에 의한 이온교환반응이 일어나 하얀 침전물의 Mg(OH)_2 가 생성되어 팽창을 유발시키게 된다. Mg이온에 의한 콘크리트내의 Mg(OH)_2 생성은 사용 시멘트 종류에 따라 차이가 있으며, Mg이온 반응은 포르트랜드 시멘트를 사용한 콘크리트 보다 Slag나 Pozzolane이 혼합된 시멘트를 사용한 콘크리트에서 적게 일어나는 것으로 알려져 있다.

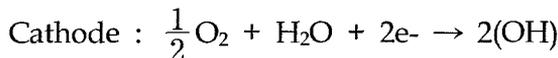
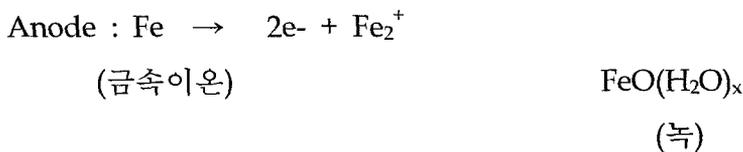
(다) 탄산염에 의한 Ca이온 용출

시멘트 페이스트를 해양환경에 노출시킬 경우 탄산염과 반응하여 Ca이온을 용출하게 되며, 이로 인해 질량의 감소가 일어난다. 특히 침투성이 큰 콘크리트는 해수에 정상적으로 용존된 CO_2 의 양에 의해서도 시멘트의 접착성 물질이 분해될 수 있다. 이러한 예로

서 콘크리트를 장기간 해수에 노출시킬 경우 Thaumasite (Calcium Silicocarbonate), Hydrocalumite (Calcium Carboaluminate Hydrate), Aragonite (Calcium Carbonate) 등이 생성되어 열화된다고 알려져 있다.

(2) 콘크리트내의 철근부식

콘크리트 내에서 철근은 아주 얇은 FeO의 피막으로 덮여있다. 이 막은 부동태 피막이라고 부르고 있으며, 불침투성으로 알칼리환경에서 철근 표면에 강하게 고착되어 있다. 금속이온은 부동태 피막이 파괴될 때까지 양극반응에 이용될 수 없으나, 콘크리트 내의 pH가 11.5 이하로 내려가게 되면 파괴되어 부식을 일으키게 된다. 부식은 양극반응과 음극반응에 의해 일어나며, 금속이온이 녹으로 변하는 과정에서 체적의 팽창을 야기하게 된다. 체적의 팽창은 산화상태에 따라 다르나, 원래 체적의 6배에 이른다. 철근 부식의 주요 반응을 살펴보면 다음과 같다.



철근 부식은 Cl이온이 존재할 경우, Cl/OH의 비에 따라 차이는 있지만, 콘크리트 내의 pH가 11.5 이상일 경우에도 부동태 피막이 파괴된다고 알려져 있다.

(3) 해양환경에서 콘크리트의 열화 대책

다음은 앞서 언급한 열화 요인과 상자형어초를 시설한 후 예상되는 열화 요인에 대한 대책을 알아보려고 한다

무근 콘크리트에 있어서 침투성이 낮게 시공될 경우 해양환경에서 60년 이상 경과하여도 열화에 큰 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 침투성이 큰 콘크리트의 경우 Mg이온, CO₂나 Ca이온의 용출에 의해 질량의 손실이 야기된다. 철근 콘크리트에 있어서도 단위 시멘트량(390 kg/m³)이 높다 할지라도 침투성이 높을 경우 철근부식이 일어난다고 알려져 있다. 이것은 높은 침투성으로 인해 해수나 공기가 콘크리트 내의 철근이 묻혀있는 곳까지 쉽게 침투할 수 있기 때문이다.

수화된 포틀랜드 시멘트의 화학성분과 해수의 상호반응에 의한 열화는 해수가 콘크리트 내부로 침투해 들어가지 않는 한 일어나지 않는다. 일반적으로 치밀성이 낮은 콘크리트는 배합비가 높거나 부적절한 다짐과 양생 등에 의해 일어난다. 또한 시공 이음부분

에 대한 대책이 불충분했거나 부적절한 철근 피복 두께에 의해서도 일어난다. 콘크리트 표면에서 내부까지 해수에 의한 시멘트 페이스트의 화학적 열화의 진행은 일정한 형태로 진행된다. CO₂에 의한 Aragonite나 Bicarbonate의 형성은 콘크리트 표면에 한정되며, Mg 이온에 의한 Brucite의 형성은 콘크리트 표면 아랫 부분에서 일어난다. 한편 Ettringite의 형성은 이보다 깊은 부분에서 일어난다. 이들의 반응생성물은, 콘크리트의 침투성이 높지 않는 한, 시멘트 페이스트에서 해수에 의한 유해한 화학작용은 일어나지 않는다. 오히려 반응생성물의 불활성 때문에 침투성을 낮게 하고, 해수가 콘크리트 내부로 침투해 들어가는 것을 막아준다(金, 1996). 그러나 이와 같은 현상은 조간대와 같이 동하중이 작용된 곳에서는 반응생성물이 생성되자마자 파도 등에 의해 씻겨 나가기 때문에 기대할 수 없다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 콘크리트의 경우, 시공과정에서 내구성 증진 즉, 열화를 방지하기 위해서는 무엇보다도 침투성을 낮게 하는 것이 중요하다. 이를 위해 적절한 배합비를 가져야 하고 충분한 다짐과 양생을 실시해야 한다. 특히 시공과정에서 Cold Joint가 생성되지 않도록 해야하며, 적절한 철근 피복두께를 유지해야 할 것이다. 한편 강제 부식의 경우 충분한 두께를 갖게 하여 계획된 내구년수 동안 구조물이 유지될 수 있도록 해야할 것이다.

(4) 상자형어초의 안정성 검토

(가) 활동에 대한 안정성

상자형어초의 시설후 안정성은 활동 및 전도만을 고려하여 검토하였다. 어초에 작용하는 유체력(F₀)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_0 = F_D(\sin\theta + \alpha)^2 - F_M \cos\theta \quad (4. 1)$$

이 식에서 어초에 작용하는 유체력(F₀)을 최대로 하는 위상각 θ 를 구하고, 여기에 대응하는 F_D를 계산한다. 그러나 근사적으로 항력(抗力)에 대해서는 파도운동의 속도(u_m)와 조류속도(u₀), 관성력에 대해서는 파도로 취급하면 약간의 안전측 수치로서 다음 식으로 수정할 수 있다.

$$F_0 = F_D + \frac{F_M^2}{4F_D} \quad (4. 2)$$

여기서,

$$F_D = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot u^2}{2g}$$

$$F_M = \frac{2\pi \cdot C_M \cdot V \cdot \rho \cdot u}{g \cdot T}$$

$$\frac{F_M^2}{4F_D} = \frac{(2\pi \cdot C_M \cdot V)^2 \rho}{2C_D \cdot A \cdot g} \cdot \frac{1}{T^2}$$

$$u_m = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\cosh 2\pi \cdot D/L}{\sinh 2\pi h/L} = u - u_0$$

C_D : 항력계수, C_M : 겉보기 질량계수, A : 어초의 투영면적, ρ : 해수비중,
 u : $u_m + u_0$, g : 중력가속도, T : 파도주기, V : 어초의 실용적, H : 파고,
 L : 파장, h : 어초의 시설수심, d : 어초의 높이

상자형어초가 활동하지 않는 조건은 어초에 작용하는 유체력(F_0) 보다도 해저와 어초의 마찰저항이 크면 안전하다고 할 수 있으므로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$W > \frac{F_0}{\mu \left(1 - \frac{\rho}{\sigma}\right)} \times S_{F1} \quad (4.3)$$

여기서,

W : 어초의 공중중량, μ : 어초와 해저와의 마찰계수, ρ : 해수의 밀도,
 σ : 어초의 밀도, S_{F1} : 활동에 대한 안전율 (1.2)

실제로 상자형어초가 시설될 통영시 곤리도 해역의 환경조건을 아래와 같이 가정하여 활동에 대한 안정성을 검토해 보자.

<환경조건>

항력계수 (C_D): 2, 겉보기 질량계수 (C_M): 2, 상자형어초의 흐름에 대한 45° 투영면적 (A): 15.46 m^2 , 상자형어초의 실용적 (V , 여기에서는 외부상자의 값): 5.39 m^3 , 해수비중 (ρ): 1.03, 어초의 밀도(σ): 2.4, 파도의 주기(T): 10 sec, 파고(H): 3 m, 파장 (L): 70 m, 어초 시설수심 (h): 30 m, 어초와 해저간의 마찰계수(μ): 0.6, 상자형어초의 회전 중심으로부터 중심까지의 수평거리 (l_w): 2.74 m, 조류속도(u_0): 0.5 m/s , 어초의 높이 (D): 3 m, 활동에 대한 안전율 (S_{F1}): 1.2

이들 조건에 의거 어초에 작용하는 유체력 (F_0)을 구한 후, 4.3식에 대입하여 계산하면 상자형어초의 공중중량(W) 16.61톤과 어초의 해저마찰저항 계수값 0.6을 곱한 9.96톤이 어초에 작용하는 유체력 (F_0) 4.47톤에 안전율 1.2를 곱한 값 5.4톤 보다 크기 때문에 상자

형어초는 상기 조건에서 활동에 대해 안전하다고 할 수 있다. 특히 상자형어초의 경우 어초 저면에 부착된 침하방지용 팽이파일이 어초의 자중에 의해 저면에 박혀 있는 상태에 있으므로 실제로는 훨씬 활동에 안전하다고 할 수 있다.

(나) 전도에 대한 안정성

어초가 전도하지 않을 조건은 전도에 대한 저항 모멘트가 전도 모멘트보다 크거나, 수중에서 어초의 자중 및 어초에 작용하는 유체력 (F_0)의 작용선이 저면에 있으면 안전하다고 할 수 있다. 이것을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$W > \frac{F_0}{l_w \left(1 - \frac{\rho}{\sigma}\right)} \times S_{F2} \quad (4. 4)$$

여기서,

W: 어초의 공중중량, l_w : 상자형어초의 회전 중심으로부터 중심까지의 수평거리, ρ : 해수의 밀도, σ : 어초의 밀도, S_{F2} : 전도에 대한 안전율 (1.5)

활동에 대한 안정성 항에서 사용하였던 조건들을 이용하여 상자형어초의 전도에 대한 안정성을 검토하여 보면, 전도에 대한 저항 모멘트 값은 31.29톤으로 어초에 작용하는 유체력(F_0)에 전도에 대한 안전율 1.5를 곱한 값 6.7톤 보다 훨씬 커서 전도에 대해서도 안전하다고 할 수 있다.

4. 통영해역의 일반 어초 배치도

우리나라에 있어서 어초의 배치(구성)는 어초단체, 단위어초, 어초군으로 이루어진다 (Fig. 14). 어초단체는 단위어초 구성에 이용되는 1개의 구조물이며, 각종 형상과 규모를 갖는다. 단위어초는 어업생산의 장으로서 안정된 효과를 발휘할 수 있는 최소 규모의 어장이다. 단위어초에는 1개의 어초단체로 구성되어진 것과 복수의 어초단체로 구성되어 지는 경우가 있다. 또한, 어초군은 단위어초가 유효 어획 거리 내(어획의 유효범위, 어군의 이동가능거리 및 유영(流影)의 영향범위 등)에 배치된 하나의 집적체를 갖는 어장을 나타낸다(국립수산진흥원, 2000). 1개 단위어초의 규모는 800 m²이며, 어초군은 2~20개의 단위어초로 구성된다.

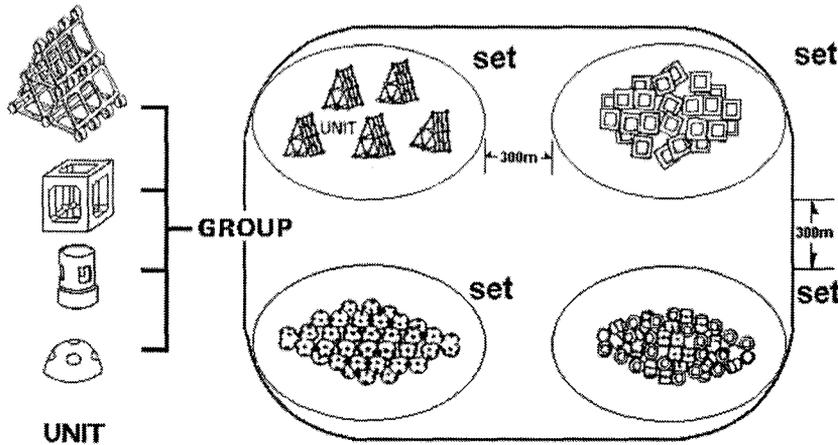


Fig. 14. Deployment of reefs in Korea.

5. 조피블락의 성장 단계별 생태습성에 적합한 어초시설 배치

가. 어초배치에 대한 전략

통영해역 바다 목장화를 위한 어초어장의 조성 규모를 결정함에 있어 대상어종, 수심, 이용어법 등을 고려하였다. 대상 어종은 조피블락 이외에 통영해역에 출현하는 어종 중 비교적 고급 어종인 참돔, 그리고 최근 자원이 급격히 감소하고 있는 블락으로 하였다.

대상으로 하는 어종 중 조피블락과 블락은 접촉과 시각자극에 강하게 반응하는 어류로 내부 구조가 복잡하고 전체 면적이 큰 구조, 그리고 참돔은 시각 및 음파자극에 강하게 반응하며 외부 용적이 큰 구조에 각각 많이 위집한다. 어장을 조성함에 있어 이런 습성을 기초로 하여 용적을 크게 하는 테구조와 접촉면이 넓은 면구조가 복합된 어초구조 개념을 도입하였다. 어초 높이는 시설지의 수심이 대부분 약 30 m 인 점을 감안하여 3 m로 하였고, 어초단체간의 거리를 약 20 m로 하여 단위어초의 면적을 되도록 넓게 하였다. 이와 같이 어초의 높이와 어초 단체간의 거리를 정한 후, 적정 배치형태에 대해서는 동 해역에서 조피블락, 블락, 참돔, 감성돔 등을 대상 어종으로 하는 연승과 낚시어업을 전업으로 하는 어업인들이 많은 점을 감안하여 1단으로 하여 조성하였다(국립수산진흥원, 1999).

나. 조성규모

어초어장 면적은 9 km²로 4개의 단위어초로 구성된다(Fig. 15). 단위어초 1개소의 규모는 상자형어초 25개 약 675 m²로 구성된다. 그리고 단위어초 간의 거리는 약 1 km로 하였으며, 주위에 시설된 기존 사각형 어초와도 유효어획 거리를 유지하여 어장조성의 효

과가 극대화되도록 하였다.

어초의 규모는 출현어종, 어군의 크기, 이용어법 등에 의해 결정된다. 국립수산진흥원 (1992)에서 삼중자망을 이용하여 우리나라 연안해역의 최적 어초어장(어초군)을 조사한 결과, 통영해역의 경우 최적 어초 규모로 10,000 m² 정도가 바람직하다고 하였다. 이 규모는 조사된 다른 해역(동, 서, 남해안 어초 시설지)에 비해 약 2배 이상의 큰 규모인데, 통영해역의 경우 큰 규모의 어초어장에서 어획 생산성이 높았던 것은 다른 해역에 비해 회유성 및 정착성 어종이 풍부하여 상대적으로 어군량이 많아 어초의 이용 범위가 넓었기 때문이라고 할 수 있다.

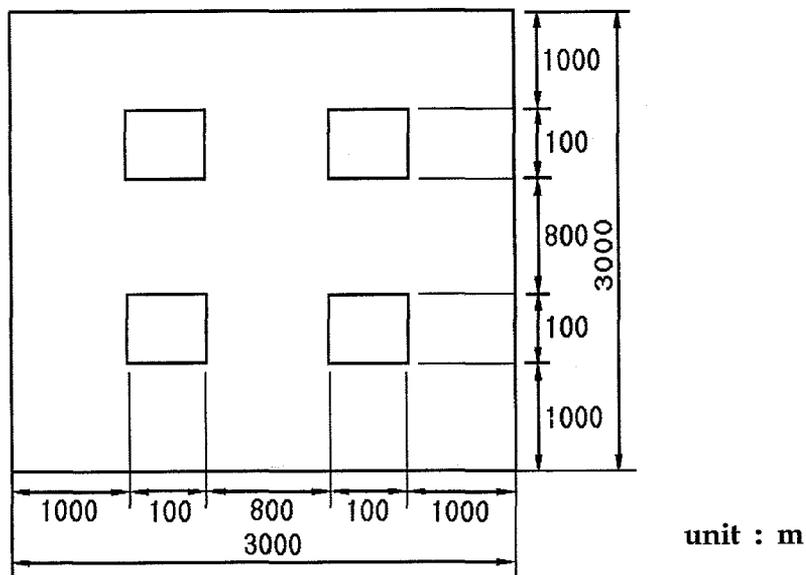


Fig. 15. Deployment of artificial reef complex. Rectangle in the figure indicates a reef set with about 675 m².

그러나 본 연구에서 어초어장 조성규모를 약 675 m²로 한 것은 동 해역의 주 대상 어종인 조피볼락은 이동성이 크지 않다는 것, 그리고 동 해역에는 참돔과 감성돔이 계절별로 차이는 있지만 접안(接岸)과 이안회유(離岸回遊)의 경로에 위치해 있어, 이들 어종에 대해 일정 기간동안 서식장으로서 기능이 부여되어야 한다는 것, 마지막으로 방류된 조피볼락의 치어를 포식어로부터 보호하기 위해서는 많은 은신처의 확보가 필요하나, 어초단체간의 거리를 어느 정도 유지함으로써 상대적으로 적은 면적으로도 많은 은신처를 부여할 수 있다고 판단했기 때문이다. 한편 이용 어법의 측면에서는, 앞서 배치 전략에서도 언급한 바와 같이, 조업에 이용되는 어구가 주로 낚시와 연승으로, 낚시의 경우 되도록

많은 어선(4~5톤, 약 8척 조업 가능)이 조업할 수 있도록 하였다. 이 규모는 실제 용적으로는 현행 규모보다 적지만, 현행 어초의 배치형태는 어초를 중첩하여 시설하므로 실질적인 시설면적은 900~1,600 m² 정도가 된다. 그러나 본 연구의 경우 10,000 m² 정도나 되어 현행 단위어초의 시설규모인 800 m² (4~5톤, 1~2척 조업 가능)보다 실제 어초시설 면적은 약 10배 정도의 큰 규모이다.

다. 어초배치

어초의 시설규모가 동일하다 할지라도 수심, 어초의 시설높이, 어초단체 및 단위어초간의 거리 등에 따라 어초어장의 생산성은 달라진다. 어군은 활발한 일주기(日週期) 행동을 하며 5~10 km 정도의 생활 행동권을 갖는 것이 많다. 이러한 일주기 행동은 행동권 내에 자연초와 같은 어장이 얼마나 존재하느냐에 따라 다르나, 어초에서의 이동 범위는 4,000~8,000 m² 용적의 단위어초의 경우 약 1 km로 알려져 있다(金, 1999). 그러나 이것은 어류가 얼마나 이동하느냐 하는 것이고, 실제로 우리는 대상으로 하는 어류가 어초에서 얼마나 오래동안 체류할 것인가에 관심이 있을 것이다.

어초에서의 어군이 얼마나 머무르느냐는 유선(流線)의 유발 형태에 크게 의존한다. 그러나, 이와 같은 습성도 계절적으로 심천이동(深淺移動)을 하거나, 계절에 따라 분포중심의 위치가 변하기 때문에 어기(漁期)를 연장하기 위해서는 심천방향으로 전개하여 배치하는 것이 바람직하다. 본 연구의 경우, 바다목장화 조성 예정지가 주위에 크고 작은 섬들로 둘러싸여 있기 때문에 심해쪽으로 배치하는 것이 어려워 심천방향 대신, 동 조성 지역내의 수심의 차이를 이용하여 30~50 m 범위에 걸쳐 어장이 조성될 수 있도록 하였다. 이것은 30 m에 위치한 어초를 수심 50 m의 어초와 연계함으로써 월동기에 조피볼락 등이 50 m의 수심대에 시설된 어초에서도 월동할 수 있도록 하기 위해서 였다.

어초어장 조성에 있어서 어초의 시설 높이(용적의 개념)도 어류를 어초어장에서 되도록 오래 동안 머무르게 하는데 영향을 준다. 그러나 이와 같은 영향은 어종에 따라 차이가 있으며, 회유성 어종인 삼치, 방어, 고등어 등과 같이 음파나 유체자극에 강하게 반응하는 어류들은 어초의 높이가 중요한 요소로 작용하지만, 조피볼락이나 참돔과 같이 접촉이나 시각자극에 강하게 반응하는 어류는 높이 보다는 수평적인 크기(면적 개념)가 중요한 요소로 작용한다(Kim et al., 1994).

특히, 저서성 어류인 경우 어초에서의 체류는 어초 높이와는 상관도가 낮은 것으로 알려져 있다(柿元, 1998). 본 연구에 있어서도 이러한 특성을 감안하여 시설 높이보다는 수평적인 크기 즉, 면적 개념에 중점을 두어 어초의 시설 높이를 3 m로 하였다. 이와 함께 배열은 1단으로 하고, 단위어초의 1개소 규모가 100×100 m가 되도록 하였다. 또한 어초단체의 배치형태도 어초를 집적하여 시설하지 않고, 상자형어초를 약 20 m 간격으로 분산 시설하여 되도록 면적을 넓게 하였다(Fig. 16).

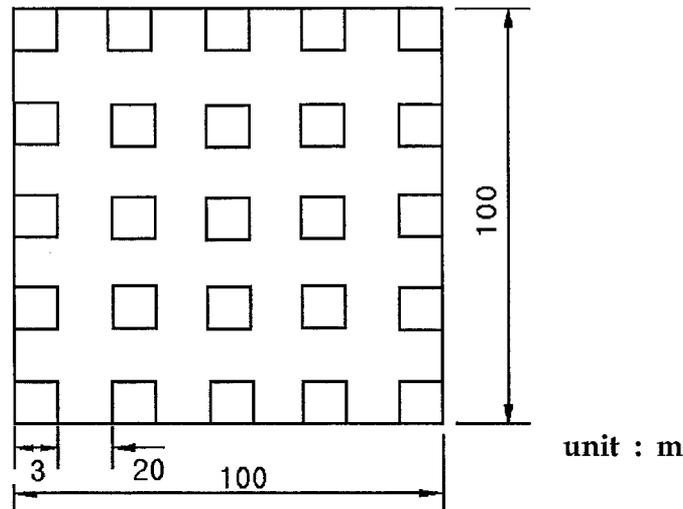


Fig. 16. Deployment of reef unit in a reef set. Reef unit was installed at intervals of about 20 metres.

단위어초간의 거리도 어류의 체류에 영향을 준다. 조피볼락이나 참돔은 대개 단위어초간의 유효이동 거리가 400~600 m 정도로 방어나 삼치 등과 같은 회유성 어종에 비해 짧다. 그러나 어류의 단위어초간의 이동거리는 조류의 세기, 지형, 어초의 규모에 따라 다르기 때문에 일률적으로 정하기는 어렵고, 일반적으로 어초어장에서의 대상 어종의 이동거리뿐만 아니라, 목적으로 하는 어종을 효율적으로 조업할 수 있는 거리 등에 의해 결정한다. 본 연구에 있어서도 단위어초간의 거리를 결정함에 있어서 이들 두 요소를 우선적으로 고려하였다. 즉, 400~600 m 보다 긴 800 m 정도로 한 것은 실제 어초가 시설된 곳에서는 낚시, 그리고 실제 어초가 시설되지 않은 단위어초간의 사이에는 연승이나, 유효 어망을 사용할 수 있도록 하기 위한 것이다.

6. 어초 시설 오차 분석

인공어초 시설시 야기되는 오차로는 GPS(Global Positioning System)에 의한 오차, 부표오차, 작업선 계류 위치의 오차, 작업선 기울기에 의한 오차, 해·조류에 의한 오차 등이 있다(佐藤, 1984). 그러나 연안에서 어초를 시설할 경우 GPS에 의한 오차, 부표오차 및 작업선 계류 위치의 오차가 주로 문제가 된다고 할 수 있다.

GPS는 기하학의 삼각법에 의하여 위치를 결정한 것으로 위치를 정확히 알고 있는 위성에서 출발한 위성신호를 수신하여 전파의 도달시간을 측정함으로써 미지점(사용자)의 위치를 계산하는 것이다. GPS는 기상과 관계없이 24시간 위치 결정이 가능하고 GIS(Geographic Information System)의 data를 실시간으로 취득이 가능하여 고도의 신속성과 정확성을 확보할 수 있는 장점을 갖고 있다. GPS는 1950년도 후반부터 미해군에서 개발

된 이래 계속적으로 기능이 향상되어 사용되어 왔으나, 군사 목적으로 개발되었기 때문에 미국은 안보차원에서 적대국의 GPS 사용을 제한하기 위해 C/A코드에 인위적으로 제도 오차 및 시계오차를 첨가하여 상대적으로 오차를 유발시키므로써 수평, 수직방향의 경우 100~150 m까지의 오차가 있었다. 그러나 현재는 SA(Selective Availability)를 해제하여 수평오차의 경우 20 m, 수직오차의 경우 30 m 이내로 비교적 정확한 위치 정보를 얻고 있다.

부표오차는 위치오차(GPS 오차)와 기준 부표 앵커설치 작업시 오차, 조류 등에 의한 부표오차를 들 수 있다. 이 중에서 가장 큰 오차는 조류 등에 의한 부표오차로 부표와 앵커의 고정에는 보통 5% 정도의 길이를 더 준다. 이 경우 부표 위치는 Table 3에서와 같이 어초 시설 수심의 2배 이상인 직경의 원주 상에 있게 되고 기준부표를 목표로 하여 작업한 경우에 있어서도 어초 블록의 설치위치는 수심의 2배정도 범위에서 흩어지게 된다. 작업선 계류위치에 의한 오차는 佐藤(1981)에 의하면 수심 100 m 침설어초 작업시 이동거리 300 m, 작업선을 수심의 3배로 2점 계류할 경우, 계류로프 길이는 약 890 m가 된다. 이 경우 앵커의 이동 및 로프가 늘어나지 않는 것으로 하여 로프를 따라 이동하여 작업한다면 중앙에서 앵커를 연결하는 직선으로부터 36 m 옆으로 이동하고 로프 신장율이 5%일 경우 최대이동 거리는 로프길이에 대하여 0.16배인 14 m가 된다고 하였다(Fig. 17).

Table 3. The length and vibration diameter of buoy rope by installation depth of artificial reef

unit : m

Installation depth of artificial reef	50	70	100
length of buoy rope	75	105	150
Vibration diameter of buoy rope	112	156	224

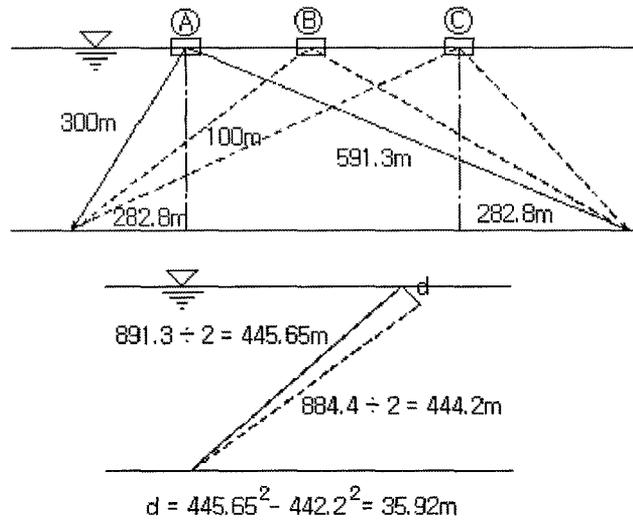


Fig. 17. The moving distance of a barge moored at two positions. The length of rope required to moor a barge at position A in the figure is 891.3 m, 888.4 m for position B.

해·조류에 의한 오차의 경우 해중에는 어느 정도 흐름이 있고, 흐름의 방향이나 세기가 수층마다 일정치 않는 등 복잡한 유황을 나타내는 경우가 많다. 어초를 시설할 경우 자유낙하 혹은 현수거치에 흐름의 영향을 받아 수직으로 이동하지 않고 어느 정도 수평 방향으로 이동하여 시설하게 된다.

7. 어초 시설의 정밀시공 방법

가. 어초 시설시 야기되는 오차범위 산정

어초 시설시 야기되는 오차는 우연의 오차를 포함한 여러 요인에 의하여 발생되고, 해역마다 지형조건, 해상기상조건 등이 각기 달라 정확한 오차 산정은 어렵다고 할 수 있다. 여기에서는 바다 목장화와 관련하여 시설된 어초가 연안에 위치함으로 연안역에서 주로 야기될 수 있는 GPS에 의한 오차, 부표오차, 작업선 계류 위치의 오차에 대해서만 기술하고자 한다.

GPS에 의한 오차는 앞서 언급한 바와 같이 수평오차의 경우 20 m, 수직오차의 경우 30 m 정도로 기계적 오차라 할 수 있기 때문에 인위적인 오차감소는 현실적으로 불가능한 실정이다. 부표 설치오차는 기준부표 설치시 오차범위로 GPS에 의한 오차 20 m, 부표 앵커의 이동이나 앵커 설치시 작업선의 기울기에 의한 오차를 추가하여도 수심 50~100 m에서 유속이 0.25~1 % 일 경우 약 23~29 m 의 근소한 오차만 발생한다. 실제로 부표 설치시 작업선은 1 knot 이하의 미속으로 운항되지만, 이 속도로는 기준 부표를

투입하는 데에 1분이 걸린다고 하면 배는 그사이에 31 m 나 전진한다. 정선상태일 경우 도 유속이 0.25~1 m/s 일 경우 1분에 약 15~60 m 정도 이동하게 된다. 여기에 바람이나 파도가 있게 되면 오차범위는 더욱 커지며 이들을 종합적으로 판단하여 부표를 설치하더라도 40~70 m 정도의 오차가 발생하게 된다. 작업선 계류 위치에 의한 오차의 경우 2점 계류에 의한 오차(앵커 길이는 수심의 3배)를 고려하면 수심 50~100 m 해역에서 유속이 0.25~1 m/s 일 경우 약 100~280 m까지 오차가 발생된다.

나. 어초 시설의 정밀 시공방법

예를 들어 상자형어초 현수거치시 수심의 2배 정도의 오차가 유발된다면 상자형어초의 경우 시설수심이 20~30 m의 곳(Fig. 18)이므로 약 40~60 m의 오차를 예상할 수 있다. 그러나 통영해역 바다목장화 조성지는 주위에 크고 작은 섬들로 둘러싸여 있어 외부로부터 파랑 등의 영향은 외해에 비해 상대적으로 적다고 할 수 있기 때문에 어초시설 시 야기되는 오차는 주로 작업선 계류위치에 의한 것으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 주위의 지형지물을 이용하여 비교적 위치선정이 용이하므로 2점 계류 방법으로 작업선을 시설위치에 고정시킨 후 어초간에 거리를 약 20 m 간격으로 시설하였다 (Fig. 16, 19). 시설과정에서 조류의 세기와 방향에 의한 오차를 고려하여 예인선으로 작업선을 어초 시설지에서 이탈되지 않도록 계속적으로曳引하였다. 그러나 어초단체를 일정한 간격으로 시설하는데 있어서는 어초간의 거리가 정확하게 20 m 간격을 확보하기

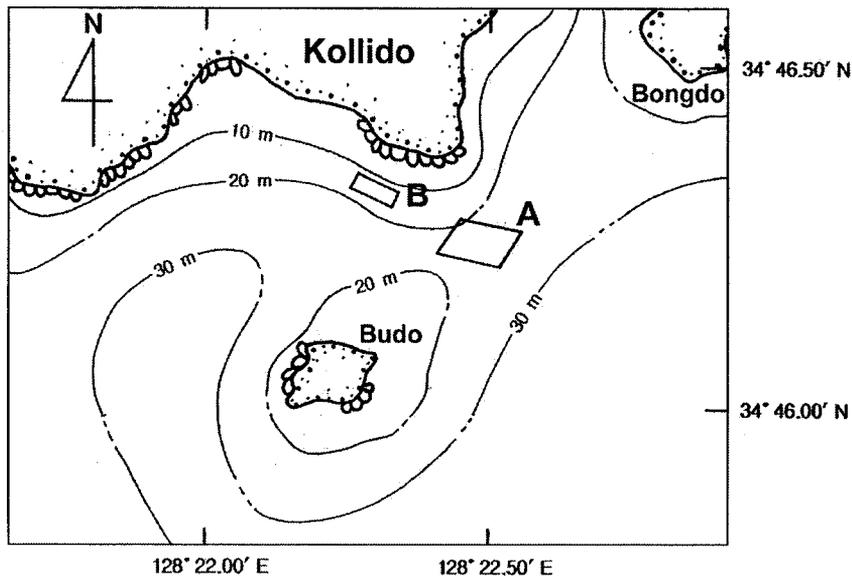


Fig. 18. Water depth in marine ranching area. A: 20 box reefs, B: 5 box reefs.

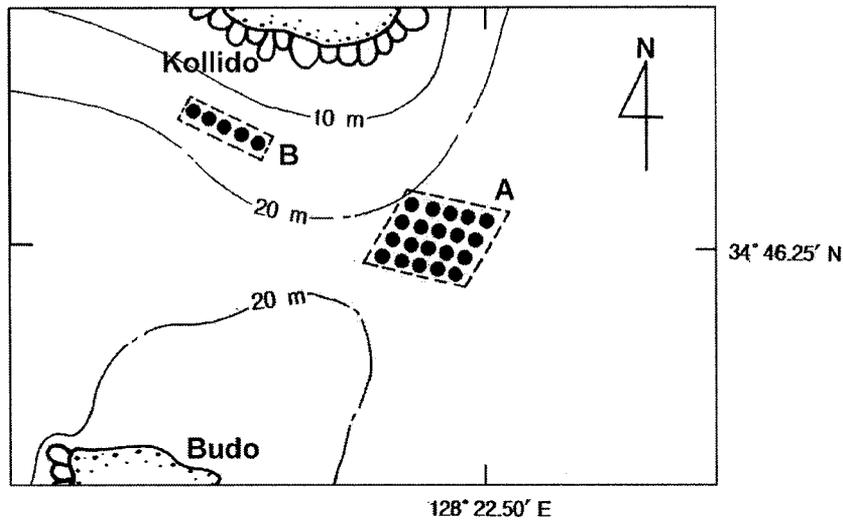


Fig. 19. Deployment of Box reef in Tongyeong marine ranching area.

Black circles in the figure indicate Box reef units.

에는 2점 계류로서 어려웠고, ± 5 m 정도의 차이가 발생했다. 더욱더 정밀한 시공이 필요할 경우에는 2점 계류 보다 4점 계류를 실시하는 것이 오차를 보다 크게 줄일 수 있으며, 이 경우에 있어서도 어초 배치도에 명시된 GPS 좌표에 시설지의 유속이나 유향에 의한 오차를 충분히 고려(계산)하여 부표의 진동 반경을 계산한 후 어초를 시설하게 되면 오차는 크게 줄일 수 있을 것이다. 이와 함께 작업선과 예인선의 유기적인 관계, 작업선의 작업원에 대한 위치 파악 등에 관한 사항을 시설전에 충분히 주지시켜야 할 것이다 (Fig. 20).

8. 인공어초 시설 전·후의 표본선 및 이용 어선의 어획효과 구명

가. 인공어초 시설 전·후의 표본선에 의한 어획효과

통영해역 바다 목장화 조성지와 주변해역에서 낚시와 연승으로 전업을 하고 있는 어업인 중 통영군 산양읍 중화리, 미남리 척포, 물개마을 등 3개 어촌계에서 10명을 선정하여 조사를 의뢰하였다. 조사 결과 금년도에는 대체로 예년에 비하여 어획 실적이 저조하였다. 주요 어획어종은 참돔, 조피볼락, 볼락이었으며, 특이한 것은 방류산이 많이 어획되고 있었다. 이들 어종에 대한 자연산과 방류산의 어획비율을 보면, 참돔의 경우 자연산 90%, 방류산 10%, 조피볼락의 경우 자연산 10~20%, 방류산 80~90%, 광어의 경우 20%, 방류산 80% 정도가 어획되고 있었다. 이들 자료는 청취조사에 의한 것으로 다소 신뢰성은 떨어진다고 할 수 있으나 조피볼락의 경우는 어획량 중 방류산이 약 90% 이상을 차

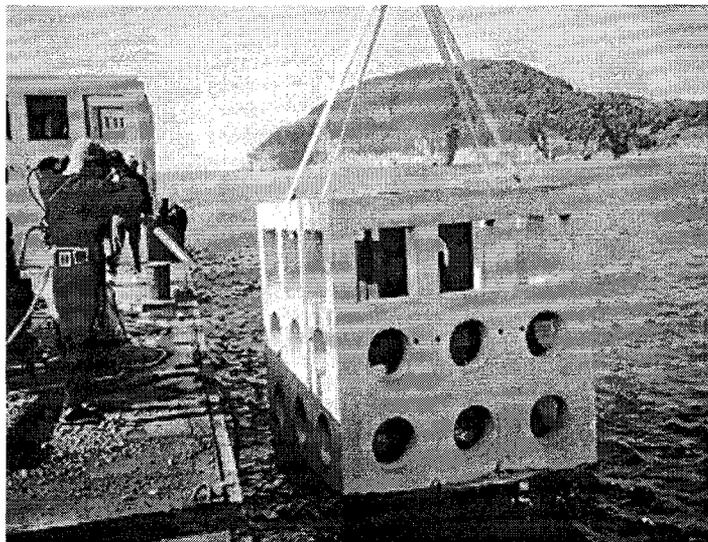
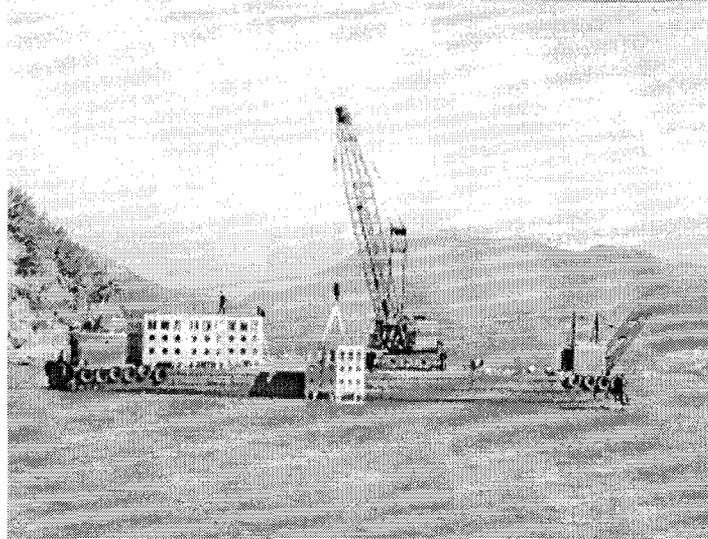


Fig. 20. Views of Box reef installation in Tongyeong marine ranching area.

지하고 있음은 바다 목장화 조성에 의한 효과가 어느 정도 가시화 되고 있음을 알 수 있다.

어업인들에 의하면 이들 어종에 대한 방류산과 자연산에 있어서 서식생태가 상당한 차이가 있는 것으로 조사되었다. 참돔의 경우 자연산은 통영 바다 목장화 해역에서는 수온 17~23℃ 범위에서 주로 어획되나, 방류산은 17℃ 이하의 수온에서도 어획되었다. 또한 참돔의 미끼와 관련하여 자연산 참돔은 새우류(주로 참새우)를 사용하는데 대하여 방류산은 어떤 미끼라도 사용이 가능하며 심지어 어육, 낚지 등을 사용해도 어획되는 등 먹이의 선택성이 상대적으로 낮다고 하였다. 자연산과 방류산의 혼획 크기를 보면 방류산 광어의 경우 1 kg 이하에서는 자연산과 혼획이 적으나, 그 이상의 크기에서는 자연산과의

혼획율이 높게 나타나고 있었다. 방류산의 재포(再浦) 위치로는 주로 척포, 해금강, 매물도 등지이나, 방류장소가 여러 곳에서 이루어지고 있어 해당 어종의 이동을 정확히 파악하는 것은 현재로서는 어려운 형편이다. 그러나 어업인들에 의하면 상당히 넓은 범위에 걸쳐서 방류산 어류가 이동하고 있었다. 인공어초 시설지 및 주변에서의 조업상황을 보면 인공어초 시설지에서 어획이 많으나, 어초와 어초사이에서도 연승 등에 의한 조업을 하고 있었다.

상자형어초는 2000년 11월 28일에 시설되었기 때문에 어획자료 확보에 어려움이 있어 본 연구에서는 포함되지 않았으나 어업인들에게는 시설사실을 통보하여 자료수집에 협조토록 하였다.

나. 인공어초 시설 후 어획효과

인공어초 시설 후 잠수관찰에 의한 어초 시설상태와 삼중자망에 의한 어획조사를 실시하였다. 시설된 상자형어초에 대한 잠수조사 결과 어초 시설지는 니사질, 패각질로 조성되어 있었으며, 어초의 매물 깊이는 5~10 cm 정도였다. 잠수조사 결과 모든 어초는 정상적으로 시설되어 있었으며, 시설시 충격 등에 의한 파손 어초는 발견되지 않았다. 특히 시설지는 북서-남동방향으로 약간의 경사를 이루고 있으나 어초 저면에 부착된 팽이 파일이 해져 퇴적층에 관입되므로써 어초의 안정성을 증대하였으며 경사도를 완화시키는 기능이 관찰되었다.

삼중자망에 의한 어획조사 결과 어초 시설지에서 어획된 어종은 쥐노래미, 넙치, 참돔, 말쥐치 등 8종이 어획되었으며, 어획량은 10,820 g(폭당 2,164 g) 이었다. 상자형어초 시설구(施設區)로 부터 약 500 m 정도 떨어진 비교구(比較區)에서는 5종이 어획되었으며, 어획량은 2,170 g(폭당 434 g)으로 상자형어초 시설구에 비해 저조하였다(Table 4).

상자형어초는 앞서 언급한 바와 같이 서식 어종에 따라서는 서식 수층이 상이한 것에 착안하여, 동일 어초의 구조 형태를 이원화 시켜 높이가 2 m 이하인 부분은 주축성이 강하고 음영(陰影)을 좋아하는 조피볼락(I형 어류) 등과 같은 어류의 서식에 적합한 먼구조, 2 m 이상의 부분은 시각(視覺) 및 청각(聽覺) 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔 및 농어 등의 어류(II형 어류) 서식에 적합한 테구조로 설계하여 만들었다(Kim et al., 2000). 어획조사 결과 상자형어초에서 쥐노래미, 넙치 등 I형 어류와 참돔, 말쥐치 등 II형 어류가 어획되어 상자형어초의 설계 목적에 일치하는 어종이 어획되고 있어 향후 상자형어초 시설구의 어획효과에 대한 결과가 주목된다. 또한 과학적으로 정확한 효과 구명을 위해서는 어류의 어초에서의 위집위치, 어획량 등에 대해 금후 보다 많은 조사를 통하여 종합적인 분석이 이루어져야 할 것이다.

Table 4. Catch per unit effort (g/net) from trammel gill nets fished at box reef

Fish species	Patterns of fish response to reef	Weight of fish caught per unit of net (g/net)	
		Box reef	Reference site
쥐노래미 <i>Hagrammos otakii</i>	I	124.0	
넙치 <i>Pralichthys olivaceus</i>	I	44.0	
참돔 <i>Pagrus major</i>	II	340.0	
쥐치 <i>Stephnolepis cirrhifer</i>	II	4.0	32.0
말쥐치 <i>Navodon modestus</i>	II	60.0	
쌍동가리 <i>Parapercis sexfascita</i>	Others	8.0	8.0
꼼치 <i>Liparis tanakae</i>	"	1,544.0	370.0
삼세기 <i>Hemiripterus americanus villosus</i>	"	40.0	
병어 <i>Pampus argenteus</i>	"		20.0
양태 <i>Platycephalus indicus</i>	"		4.0
Total		2,164.0	434.0

9. 통영해역 바다 목장화 조성을 위한 최적 배치도(안)

인공어초의 배치형태는 수심, 해저 지형 등 해역의 특성, 대상어종, 어도 등 생물학적 요인과 사용어구, 어법 등 사회·경제적 요인에 의해 달라진다. 어초를 어떻게 배치할 것인가는 인공어초의 시설효과와 직결되는 중요한 분야다. 그러나, 동일 어초 배치형태라 하더라도 어초 단체의 구조형태, 어초 시설높이, 시설면적, 단위어초의 규모, 단위어초간에 거리, 천연초와의 관계 등에 따라 어초 시설효과는 크게 달라진다. 따라서 인공어초의 최적 배치도(안)를 작성하기 위해서는 이들 요인을 명확히 분석해야 한다. 여기에서는 먼저 이들 요인에 대하여 고찰을 행한 후 통영해역 바다 목장화 조성에 필요한 조건을 확보하여 통영해역 바다 목장화 조성을 위한 어초의 최적 배치도(안)를 제시하고자 한다.

가. 인공어초 배치형태에 대한 고찰

(1) 어초의 구조

인공어초 구조는 대상생물의 행동특성에 적합한 어초 기능을 가져야 한다. 어초에 반응하는 어류 행동과 위치관계는 발육단계에 따라 차이가 있다. 앞서 언급한 바와 같이 어류의 인공어초에 대한 반응형태를 세 가지 형(I, II, III형)으로 분류하여 각 형에 속하는 어류와 어초 구조를 살펴보면 I 형에 속하는 어종을 대상으로 하는 어초는 어체의 크기에 적합한 간격을 갖고 해수가 원활히 유통할 수 있는 구조를 가져야 한다. 그리고

II형에 속하는 어류는 어초를 시계 내에 두고 어초 주변을 유영하는 습성을 갖고 있기 때문에 계속적으로 어초의 부재를 선명하게 시계에 두기 위해서는 어초 부재 간격을 2 m 이하로 하는 것이 바람직하다. 한편 III형 어류를 대상으로 하는 어초 구조는 표·중층 까지 어초 환경을 파급시킬 수 있는 구조가 필요하다(日本全國沿岸漁業振興개발協會, 1984).

(2) 어초의 규모와 배치조건

어초어장의 조성규모는 시설예정 지구의 자원조성 목표량을 달성하는데 필요한 어장 부족량과 대상생물의 위집 가능량의 두 가지 측면에서 검토해야 한다. 어장의 부족량은 대상 어업종류의 어업선 척수, 출어 일수, 일당·척당 어획량, 기존 어장의 어선 수용능력 등으로부터 추정한다. 이를 위해서는 대상어업 종류의 경영실태로부터 일당 척당 필요 어획량과 금액을 산출하여 기존어장에 있어서 일당·척당 어획량의 실태와 기존어장의 어선 수용력이 새로운 어장을 조성할 경우 어떻게 변화하며, 앞서 언급한 필요 어획량과 금액을 확보하기 위해서는 얼마만큼의 어장이 필요한지를 검토해야 한다.

어장의 규모는 먼저 어선의 수용능력으로부터 면적을 산정하고, 대상생물의 행동, 생태특성, 대상 어법의 조업형태 등으로부터 단위 면적당 어초 필요량을 검토하여 결정한다. 또한, 조성한 어장에서 기대하는 일당·척당 어획량이 확보 가능한 자원량의 내유 또는 증식 가능성에 대해서도 검토할 필요가 있다. 이와 같이 검토를 행한 후 사업비와 편익액으로부터 투자효율의 타당성에 대해 검토하여 필요한 규모를 결정한다. 규모가 결정되면 어떤 형태로 시설할 것인가가 중요하다. 즉 어초 시설높이, 중첩상태, 집중 혹은 산발시설 등 평면적 넓이 등은 어초어장에서의 생산성 향상에 중요한 요소이다.

(3) 어초의 시설 높이

침설어초 높이는 대상해역과 대상생물에 따라 다르다. 저서생물의 경우 2~3단 정도의 높이가 적당하다고 알려져 있으나, 현장조사 결과에 의하면 4~5단 정도 중첩된 경우도 있다. 어초를 여러 단 높이로 시설하기 위해서는 한 곳에 집중적으로 투입해야 하지만, 이 경우 부착생물이 대량 서식하게 된 상적 어초 내부는 용존산소와 조도가 낮아져 어류의 위집에 영향을 미칠 수가 있다(宇野, 1966).

불락의 경우 조도가 34~52 lux에서 가장 많이 위집되며, 약 10 lux 이하로 되면 어군은 어초에서 다른 곳으로 이동한다고 알려져 있다(日本神奈川縣水指内灣支所, 1960). 저서성 어류에 있어서도 어종 및 시설해역에 따라 어초 높이와 위집량의 관계가 다른 경우가 많다.

柿元(1968)에 의하면 동해에 있어서 넙치, 조피불락, 귀노래미 등 저서성 어류의 경우, 어초를 집적하여 시설하는 것보다는 어느 정도 분산시켜 시설하는 것이 바람직하나, 일본

북해도에 있어서는 집적하여 시설하는 것이 효과가 높다고 하였다. 따라서 저서성 어류를 대상으로 할 경우, 2단 이상의 높이는 어류의 위집에 그다지 중요한 요소가 되지 못하며, 평면적으로 가능한 한 넓게 시설하여 어느 정도의 면적을 확보하는 것이 유리하다고 생각된다.

회유성 어류의 경우 栢元(1968)에 의하면 전갱이, 고등어 등을 대상으로 하는 어초의 시설 규모, 넓이, 높이 등 모든 면에 있어서 큰 편이 집어효과가 높다고 보고하고 있다. 또한 三好(1964)에 의하면 전갱이, 고등어 등 회유성 어류를 집어시키기 위해서는 수심에 대하여 어초의 높이가 수심의 1할 정도가 바람직하다고 하였다. 회유성 어류는 저서성 어류보다 내유 어군량이 많지만, 체류시간이 짧기 때문에 어군을 유치하여, 체류시간을 연장시키기 위해서는 어느 정도 상적하여 어초를 시설하는 것이 중요하다. 그렇지 않으면 처음부터 어초 높이가 큰 것을 시설하여 입체적으로 어초의 자극을 많이 하는 것이 바람직하다.

(4) 어초의 시설 면적

여기에서 어초의 시설면적은 평면적으로 분산시켜 시설하는 것을 의미하며, 침설어초의 경우 일정 해저 면적에 대하여 간격을 두지 않고 어초를 시설하는 것과 어초단체 혹은 소규모의 어초에 의해 형성되는 생물 유효공간을 단위로 하여 일정한 해역 면적 내에 간격을 두고 배치하는 것을 의미한다. 후자는 어초와 그의 배치조건이 동일하다면 단위 면적당 집어효과는 전자와 거의 동일하다고 할 수 있으므로 어초의 평면적 유효공간의 형성에는 어초를 밀집시켜 시설하는 경우보다 유리할 것이다. 전자의 예에서는 어초를 서로 밀집시켜 시설할 경우, 어초의 측면이 표면적의 증가에 영향을 주지 못할 뿐만 아니라 해수 유동에 대한 저항 벽면의 효과를 갖지 못하게 된다. 이것은 결과적으로 생물에 대한 자극발생 기능을 현저히 떨어뜨리게 된다.

규모로서의 넓이는 대상어종 및 집어량의 크기에 따라 다르며, 수량적으로 나타내는 것은 불가능하다. 그러나 어초를 이용하는 조업 어선수 및 어구 어법상 요구되는 평면의 넓이가 있으며, 이 경우 수치화한 면적으로 나타낼 수 있다. 일반적으로 대규모 어군을 형성하기 쉬운 회유성 어류에 대해서는 어초의 높이와 함께 어군의 크기에 충분히 대응할 수 있는 어초의 평면적 넓이를 가져야 한다.

단위어초의 구조는 I형 어류에 있어서는 곁용적, II형 어류에 대해서는 포락면적(包絡面積), III형 어류는 높이가 각각 필요하다. I, II형 어류에 대하여 포락면적을 크게 하기 위해서는 분산하여 배치하는 것이 유리하다. 지나치게 분산시켜 시설하게 되면 어초에서 유발되는 환경자극도 분산되어 효과가 감소되기 때문에 평면적 시설면적(넓이)은 해저에 시설된 어초 투영면적의 20배 이내가 바람직하다고 할 수 있다(日本全國沿岸漁業振興開發協會, 1986). 20배의 투영면적의 개념을 사용하여 단위 조성면적 $S(m^2)$ 를 구해보면,

단위어초 J(空³m)를 한 변이 a (m)인 사각어초로 조성할 경우, 분산반경 r(m)은 다음 식과 같이 된다.

$$S = \frac{J}{a^3} \times a^2 \times 20 = \frac{20J}{a} \quad (9-1)$$

$$r = \sqrt{\frac{20J}{\pi a}}$$

로 된다. 예를 들면 J=400空³m³, a=2.0 m의 사각어초의 경우, S=4,000 m², r≈36 m가 한계의 크기로 되며, 그 이상 분산되면 어초어장의 효과는 떨어지게 된다. 이 경우에 있어서도 어초의 높이는 5 m 이상이 될 정도로 집중시켜 시설할 필요는 없고, III형 어류를 대상으로 하는 경우 어초시설 높이는 수심의 1할 정도로 하여 시설하는 것이 적당하다고 판단된다(日本全國沿岸漁業振興開發協會, 1986).

(5) 어초단체 혹은 어초군 간의 거리

어초에 어류가 위집할 경우 어초에 접촉 혹은 극히 접근하는 어류(I형 어류)를 제외하고는 어초의 주변부에 위집하거나(II형 어류), 어초에서 다소 떨어진 표·중층에 모여드는(III형 어류) 등 어초성에 따라 위집하는 위치가 다르게 된다. 따라서 시설하고자 하는 어초는 용적만이 어류를 위한 유효공간이 될 수 없으며, 어초의 주변부의 생물 유효공간을 될 수 있는 대로 늘리기 위해서는 어초단체 또는 단위어초, 어초어초군간의 유효공간을 확보하는 것이 중요하다. 단위어초의 설치에 의해서 형성되는 어장의 면적은 거의 I, II형 어류에 있어서는 단위어초 가장자리에서 약 200 m, III형 어류에 있어서는 300 m가 바람직하다고 판단된다(日本水産資源保護協會, 1976).

(6) 천연초와 상호관계

연안해역에는 어장으로서 좋은 천연초가 존재하며 어업자들에게는 천연초가 생산성이 높다는 것이 잘 알려져 있다. 천연초의 형성은 지각구조의 변동에 기인한 거초(居礁), 화산에 유래하는 화산초, 산호 등에 의한 생물초 등이 있으며, 그것의 규모는 현재 시설되고 있는 인공어초에 비해 매우 크다. 천연초가 어장의 형성요인으로서 열거되고 있는 특징으로서는 지형의 변화를 들 수 있으며, 다면지형(多面地形)으로 볼 경우, 해저선의 융기(隆起)이며, 평면지형으로는 융기부의 형상이다. 지형의 변화는 해역의 모든 환경 즉 특히 수괴(水塊)의 환경을 연속적 혹은 불연속적으로 변화시켜 이차적으로 생물 서식환경의 특별한 장소로서 만들어 주는 역할을 한다.

수괴환경의 변동은 장소나 지형 등과 같은 지역 특성이나 규모에 따라 지배된다. 수괴의 변화는 직접적이거나 간접적인 것이라 할지라도 수산생물의 자극으로서 인식되며, 그

의 반응행동은 연쇄적으로 볼 수 있다. 앞서 언급한 것과 같이 침선어초 등 인공어초의 설치 목적은 지형의 변화를 추구한다고 할 수 있다. 그러나 인공어초 단독시설에 의해 천연초처럼 어업 생산성을 기대하기는 어렵기 때문에 시설양의 규모가 작을 경우에는 천연초와 보완 관계를 유지할 수 있도록 해야 하며, 시설양이 클 경우는 일정한 거리를 유지하여 시설하는 것이 효과를 증대하는 측면에서 바람직하다 (日本水産資源保護協會, 1976).

나. 통영 바다 목장을 위한 어초의 최적 배치도 (안)

(1) 어초어장 조성 규모 산정

어초어장을 조성함에 있어 대상 생물의 자원 및 생태에 적합한 어초배치는 상당히 중요한 요소이다. 통영해역 바다 목장화의 경우 조피볼락을 주 대상어종으로 하였으며, 참돔과 볼락 자원도 함께 증대하도록 하였다. 어업대상 어구는 낚시와 연승으로 하였다. 어초어장의 기능별 조성을 위해 Fig. 21에서와 같이 패류용 어초, 자치어용 보육초, 미성어 육성초, 친어 보호초, 성어 어획초 등으로 나누어 배치하는 방안을 검토하였다.

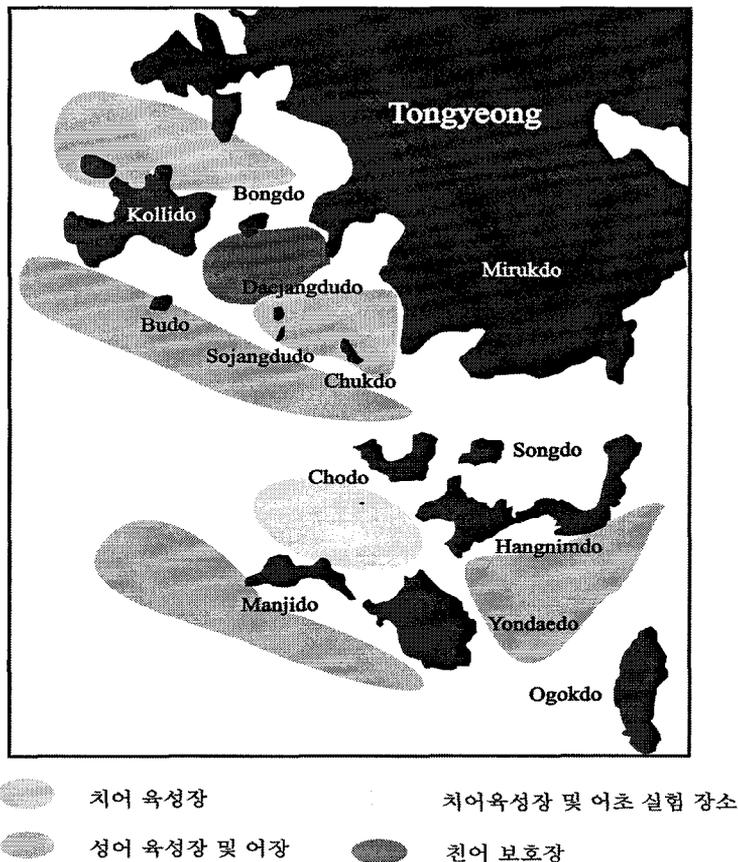


Fig. 21. Site map showing locations of artificial reef creation suitable to growth of fishes in Tongyeong marine ranching area.

패류초를 조성함에 있어 전복초를 조성할 경우 필요한 조성면적을 구해 보면, 연간 전복의 증중량을 1,000톤으로 할 경우 필요한 해조류량은 먹이전환 효율 0.07, 생산율 0.7이라면 49톤이 된다. 시설된 인공어초가 m^2 당 4.0 kg의 해조류 생산이 가능하다면 49톤의 해조류를 생산하는데 필요한 표면적은 12,250 m^2 가 된다. 반구형 어초 ($\phi 1.3 \times 2.0$ m)의 경우 표면적이 6.87 m^2 이므로 필요한 어초 수량은 1,783개가 된다. 성어를 대상으로 하는 어획용 어초의 경우 증산량을 20톤, 인공어초 어장의 m^2 당 어획량을 2.0 kg이라 하면 사업량 (어장 조성 규모)은 10,000 m^2 가 된다. 상자형어초 ($3 \times 3 \times 3$ m)의 경우 약 370개가 소요된다. 여기서 증산량은 다음과 같이 구할 수 있다(日本宮城縣, 1986).

$$\begin{aligned} \text{증산량} &= \text{어종별 CPUE (어초어장-일반어장)} \text{ (kg/어구 사용폭수)} \\ &\quad \times \text{척당 노력량 (어구 사용폭수/척)} \times \text{조업일수 (일/년)} \times \text{조업척수 (척/일)} \end{aligned}$$

(2) 어초어장의 최적 배치도 (안)

통영해역 바다 목장을 조성함에 있어 패류의 경우 주위에 암반이 없는 곳에서는 Fig. 22에서와 같이 어초를 서로 연계하여 병렬로 시설하는 것이 바람직하다고 생각된다. 그러나 암반이 있을 경우 암반과 조합시켜 분산 배치하여도 좋을 것이다. 자치어용 보육초나 미성어 육성초는 기와초와 같이 내부 구조가 복잡한 어초를 시설해야 하며, 어초의 시설 간격은 어초 시설 높이의 6배가 넘지 않는 것이 바람직하다. 친어의 보호초는 대상으로 하는 친어의 산란 생태에 적합한 구조를 갖는 어초를 시설해야 하며, 부착란을 산란하는 어류의 경우 표면적이 넓은 어초구조, 부성란의 경우 조류 등에 의해서 일산(逸散)되지 않는 구조가 바람직하다. 이와 함께 난에서 부화한 자치어가 서식할 수 있는 보육용 어초도 친어용 어초와 함께 병행 시설하는 방법도 고려할 필요가 있다.

한편 조피블락, 블락, 참돔의 경우는 어초단체를 Fig. 23에서와 같이 평면적으로 연속하여 배치하면 위집 및 어획 면에 있어서도 효과가 높을 것으로 생각된다(日本山形縣, 1984). 실제로 통영해역 바다 목장화 조성지에 2000년 11월 28일 1개소에 상자형어초단체를 Fig. 23에서와 같이 조성하였다. 또한 낚시나 연승의 경우 어군탐지기를 이용하여 어초 및 어군의 반응을 보면서 선박을 조정하여 조업하고 있어 어초로부터 떨어지게 되면 다시 어초로 돌아와 조업을 하기 때문에 어초군 조성시에는 Fig. 23, 24와 같이 평면적으로 넓게 하여 시설함이 좋을 것이다. 연승의 경우 어초로부터 100 m이내에서 많이 조업하고 있기 때문에 단위어초간의 간격도 되도록 좁게 하는 것이 바람직하다고 생각된다. 어초군 내에서 단위어초 간의 거리는 조피블락과 같이 I형 어류의 경우 400 m, 방어와 같이 III형 어류의 경우는 600 m로 함이 좋을 것이다. 한편 어초군 내의 단위어초 규모는 앞서 언급한 사업량의 계산값으로부터 결정할 수 있을 것이다.

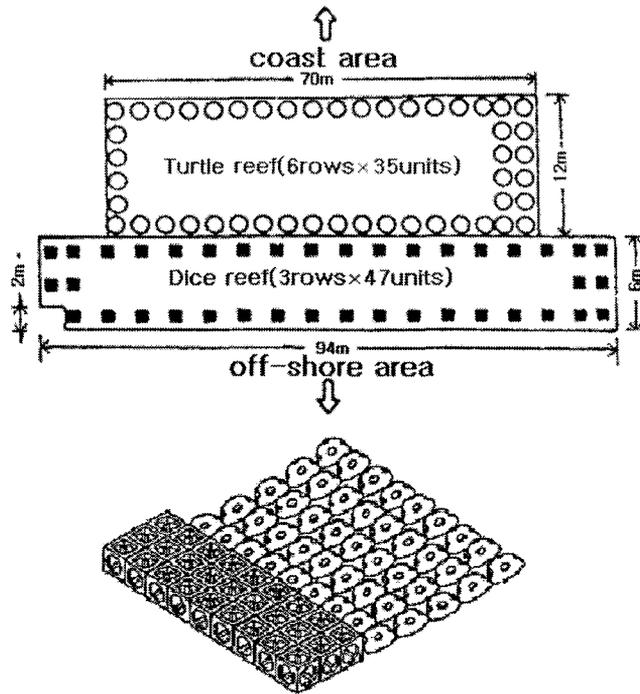


Fig. 22. Example of artificial reef creation for shellfish.

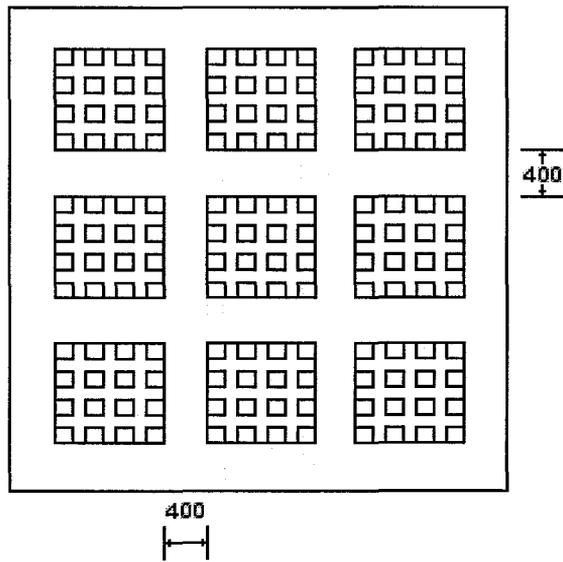


Fig. 23. Example of deployment of artificial reef group (Badug board type).

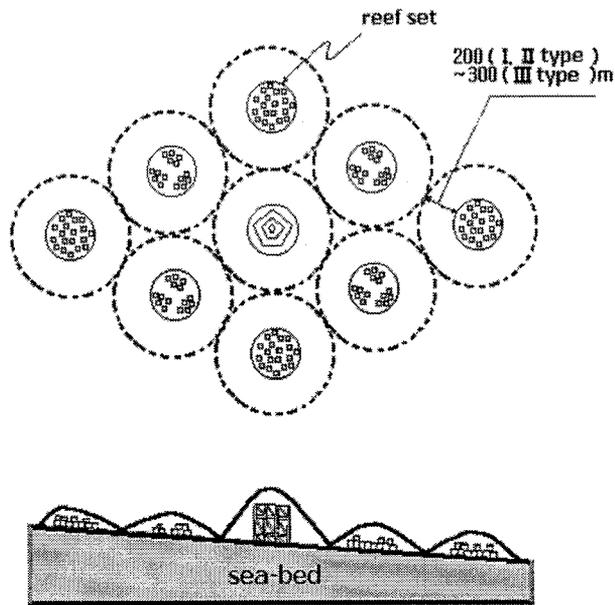


Fig. 24. Example of deployment of artificial reef group (Diamond type).

통영해역 바다 목장화의 경우 대상 자원의 증대기술과 관련해서 2가지 개념이 도입되었다. 하나는 기존자원의 증강이고, 다른 하나는 현재 고갈되어 있는 자원을 방류를 통하여 적극적으로 조성하는 것이다. 특히 전자의 경우 참돔과 같이 어종에 따라 계절회유 (Fig. 25)를 하는 어종이 많으므로 어도 상에 어초를 배치함으로써 자원증강을 기대할 수 있을 것이다. 이에 적합한 어초 배치형태로는 Fig. 26과 같은 갈매기형 배치가 적합할 것으로 생각된다.

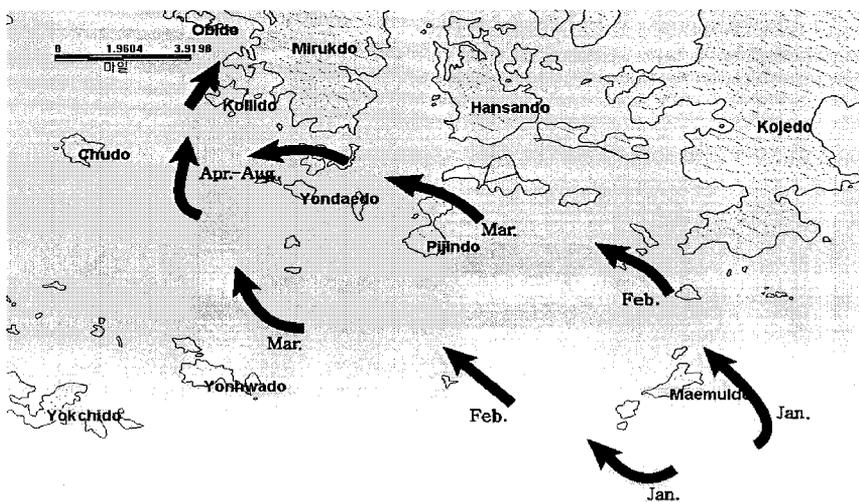


Fig. 25. Migration of red seabream (*pagrus major*) in Tongyeong coastal area.

어초 종류에 따른 어초 배치 형태의 유형으로는 소형어초(높이가 3 m 이하)와 대형어초(높이가 3 m 이상)를 병행 시설하든지, 강제 어초와 콘크리트 어초 혹은 Fig. 27에서와 같이 강제침선어초와 콘크리트 어초를 조합하여 시설하는 것도 좋은 방법일 것이다.

그러나 여기서 제시된 최적 배치도(안)는 범용성 (汎用性)을 갖는 모델이라 할지라도 동 배치도(안)를 보다 효율적으로 활용하기 위해서는 별도의 조사를 수행한 후 현장여건에 맞게 탄력적으로 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

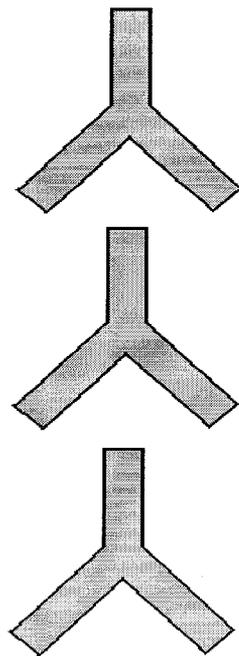
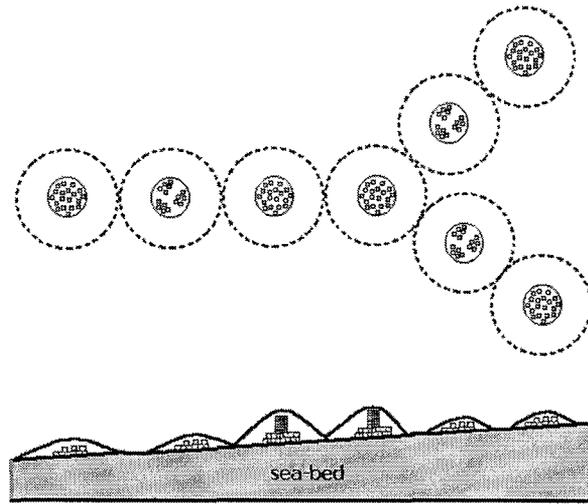


Fig. 26. Example of artificial reef group (Funnel type).

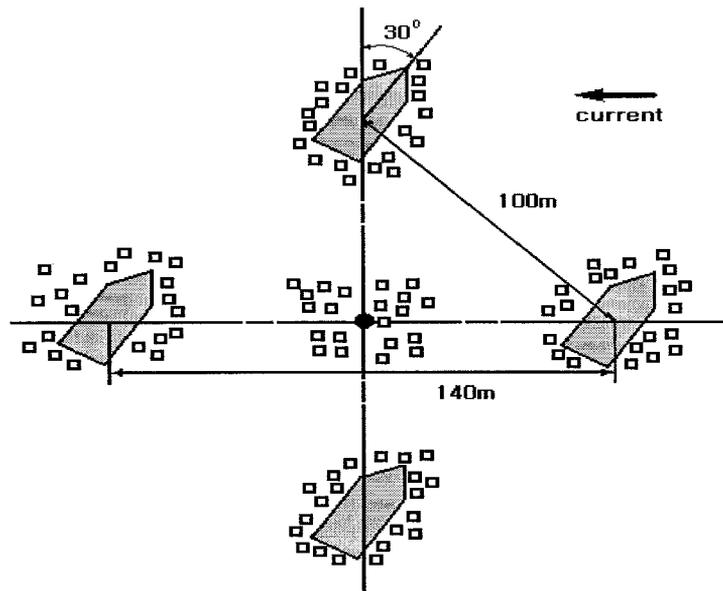


Fig. 27. Example of fishing ground creation by combination steel sunken boats with concrete fishing reefs.

IV. 결 론

통영해역 바다 목장화 조성에 필요한 기능성 인공어초에 의한 어장조성 모델 개발을 위해 1999년부터 2000년까지 2년 동안 연구를 수행하였다. 1999년도에는 통영해역 바다 목장화 조성지의 사전조사, 주 대상 어종인 조피볼락용 어초개발, 개발어초의 적정 배치 형태 등을 구명하였다. 2000년도에는 제1차 연도에서 얻어진 연구결과를 토대로 조피볼락용 상자형어초(3×3×3 m)의 구조 설계 및 제작, 시설 등 정밀시공 방법, 시설어초의 효과 분석 및 바다 목장화 조성을 위한 인공어초의 최적 배치도(안)를 각각 구명하였다. 이들에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 어초 시설지에 모여든 어류 위집형태 분석

1997년 2월부터 12월까지 통영해역 바다 목장화 지역의 곤리도 인근 해역에서 채집된 76종의 자치어에 대해 어초성을 분류한 결과, 조피볼락, 볼락과 같이 접촉자극이 강한 I형 어류는 19종이었고, 참돔, 감성돔과 같이 시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류는 9종이었으며, 나머지 어종은 어초성이 없는 것으로 확인되었다. 한편, 1997년 2월부터 8월까지 통영 어시장에서 조사된 89종의 성어는 I형이 19종, II형 21종, III형 8종으로 나타났다. 따라서 통영해역에 출현한 어종은 I형과 II형이 주 어종이라고 할 수 있다.

2. 통영해역에 설치되어 있는 어초의 특성

통영해역 중 바다 목장화 주변에 시설된 어초는 주로 사각어초(2×2×2 m), 반구형어초(∅1.3×2.0 m), 그리고 본 연구에서는 개발한 상자형어초 등 3종이다. 조피볼락용 상자형어초(3×3×3 m)는 지금까지 개발된 인공어초와 달리 특정 어종(조피볼락, 참돔) 생태 및 저질 등 서식환경을 고려하여 고안된 것이며, 내부 구조는 은신처가 많이 확보될 수 있도록 부재 간격을 좁게 설계하여 방류된 조피볼락 치어가 포식어에게 식해되지 않도록 하였다. 그리고 외부 구조는 어초 바깥면을 면구조로 하여 풍부한 음영을 갖도록 함으로써 미성어, 성어 등의 서식 및 산란에 적합하도록 하였다.

또한, 어종에 따라서는 서식 수층이 상이한 것에 착안하여, 동일 어초의 구조형태를 이원화 시켜 높이가 2 m 이하인 부분은 주축성이 강하고 음영을 좋아하는 조피볼락 등과 같은 어류의 서식에 적합한 면구조를 선호하는 서식특성을 설계인자로 채택하였고, 2 m 이상은 시각 및 청각자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔 및 농어 등의 어류 서식에 적합한 테구조로 설계하여 만들었다. 또한 해·조류에 의한 활동 및 전도 예방 그리고 연약지반에 따른 매몰방지를 목적으로 어초 저면에 팽이파일을 부착하는 것을 고안하여 설계에 적용시켜 어초의 구조적 안정성을 증대하였다.

3. 조피블락용 어초제작에 필요한 각 공정별 최적 시공

상자형어초는 외부상자와 내부상자로 구성되며, 내부상자는 다시 사각형 틀과 뚜껑모양의 판으로 이루어진다. 어초의 사용재료와 관련하여 외부상자는 콘크리트, 내부상자는 강제를 사용하였다. 외부상자 제작을 위한 거푸집은 콘크리트 타설과 탈형이 용이하도록 하였고, 원형창과 사각창 주위에는 콘크리트의 충진이 용이하도록 거푸집 외판과 내판의 경사각이 있도록 하였다. 또한 팽이파일의 부착이 용이하도록 하기 위해 외부상자를 거꾸로 타설할 수 있도록 하였으며, 설계도서에 의거 제작된 상자형어초는 모두 25개였다.

콘크리트의 경우 수화된 포틀랜드 시멘트의 화학성분과 해수의 상호반응에 의한 열화는 해수가 콘크리트 내부로 침투해 들어가지 않는 한 일어나지 않는다. 그러나 배합비가 높거나 부적절한 다짐과 양생 등에 의한 침투성이 높은 콘크리트는 해수에 의해 열화를 받기 쉬우며, 또한 시공 이음부분에 대한 대책이 불충분했거나 부적절한 철근 피복 두께에 의해서도 일어나므로 침투성을 낮게 하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 상자형어초를 제작함에 있어 치밀한 콘크리트 조직을 확보할 수 있도록 시멘트량을 300 kg/m^3 이상 사용하였고, 충분한 다짐과 양생을 실시하였으며, 제작과정에서 Cold Joint가 생성되지 않도록 각별한 주의를 하였다. 또한 철근 피복두께도 5 cm 이상 확보했으며, 강제를 사용한 안상자의 경우 부식에 대비하여 30년 이상의 내구성을 확보할 수 있도록 철판 두께가 6 mm 이상인 것을 사용하였다.

또한 상자형어초가 시설된 후 전도나 매몰되지 않고 안정되게 어초기능을 발휘할 수 있는지를 파악하기 위해 실제 상자형어초가 시설될 통영시 곤리도 해역의 환경조건을 적용하여 검토한 결과, 상자형어초의 공중중량(16.61톤)과 어초의 해저마찰저항 계수값(0.6)을 곱한 값(9.96톤)이 어초에 작용하는 유체력(4.47톤)에 안전율(1.2)를 곱한 값(5.40톤)보다 커서 상자형어초는 시설 후 안정된 상태로 유지될 수 있을 것으로 확인되었다.

4. 통영해역의 일반 어초 배치도

우리나라에 있어서 어초의 배치(구성)는 어초단체, 단위어초, 어초군으로 이루어진다. 어초단체는 어초어장 구성에 이용되는 단위 구조물이며, 각종 형상과 규모를 갖는다. 단위어초는 어업생산의 장으로서 안정된 효과를 발휘할 수 있는 최소 규모의 어장이다. 단위어초에는 1개의 어초단체로 구성되어진 것과 복수의 어초단체로 구성되어 지는 경우가 있다. 또한, 어초군은 단위어초가 유효어획거리 내(어획의 유효범위, 어군의 이동가능거리 및 유영의 영향범위 등)에 배치된 하나의 집적체를 갖는 어장을 나타낸다. 개별 단위어초의 규모는 800 m^2 이며, 어초군은 2~20개의 단위어초로 구성된다.

5. 조피볼락의 성장 단계별 생태습성에 적합한 어초시설 배치

통영해역 바다 목장화를 위한 어초어장의 조성 규모를 결정함에 있어 대상 어종, 수심, 이용어법 등을 고려하였다. 대상 어종은 조피볼락 이외에 통영해역에 출현하는 어종 중 비교적 고급 어종인 참돔, 그리고 최근 자원이 급격히 감소하고 있는 볼락으로 하였다.

대상으로 하는 어종 중 조피볼락과 볼락은 접촉과 시각자극에 강하게 반응하는 어류로 내부 구조가 복잡하고 전체 면적이 큰 구조, 그리고 참돔은 시각 및 음파자극에 강하게 반응하며 외부 용적이 큰 구조에 각각 많이 위집한다. 어장을 조성함에 있어 이런 습성을 기초로 하여 용적을 크게 하는 테구조와 접촉면이 넓은 면구조가 복합된 어초구조 개념을 도입하였다. 어초 높이는 시설지의 수심이 대부분 30~40 m 정도인 점을 감안하여 3 m로 하였고, 어초 단체간의 거리를 약 20 m로 하여 단위어초의 면적을 되도록 넓게 하였다. 이와 같이 어초의 높이와 어초 단체간의 거리를 정한 후, 적정 배치형태에 대해서는 동 해역에서 조피볼락, 볼락, 참돔, 감성돔 등을 대상 어종으로 하는 연승과 낚시 어업을 전업으로 하는 어업인들이 많은 점을 감안하여 1단으로 하여 조성하였다.

어초어장 면적은 9 km²로 4개의 단위어초로 구성하였다. 단위어초 1개소의 규모는 상자형어초 25개 약 675 m²로 구성된다. 그리고 단위어초 간의 거리는 약 1 km로 하였으며, 주위에 시설된 기존 사각형 어초와도 유효어획 거리를 유지하여 어장조성의 효과가 극대화되도록 하였다. 단위어초 간의 거리는 실제 어초가 시설된 곳에서는 낚시, 그리고 실제 어초가 시설되지 않은 단위어초 간의 사이에는 연승이나, 유효 어망을 사용할 수 있도록 800 m로 하였다.

6. 어초 시설 오차 분석

인공어초 시설시 야기되는 오차로는 GPS에 의한 오차, 부표오차, 작업선 계류 위치의 오차, 작업선 기울기에 의한 오차, 해·조류에 의한 오차 등이 있다. 그러나 연안에서 어초를 시설할 경우 GPS에 의한 오차, 부표오차, 작업선 계류 위치의 오차가 주로 문제가 된다고 할 수 있다.

GPS에 의한 오차는 수평오차의 경우 20 m, 수직오차의 경우 30 m 정도로 기계적 오차라 할 수 있기 때문에 인위적인 오차감소는 현실적으로 불가능한 실정이다. 부표 설치 오차는 기준부표 설치시 오차범위로 GPS에 의한 오차 20 m, 부표 앵커의 이동이나 앵커 설치시 작업선의 기울기에 의한 오차를 추가하여도 수심 50~100 m에서 유속이 0.25~1 % 일 경우 약 23~29 m의 오차가 발생한다고 할 수 있다. 실제로 부표 설치시 작업선은 1 knot 이하의 미속으로 운항되지만, 이 속도로는 기준 부표를 투입하는 데에 1분이 걸린다고 하면 배는 그 사이에 31 m나 전진한다. 정선상태일 경우도 유속이 0.25~1 % 일 경우 1분에 약 15~60 m 정도 이동하게 된다. 여기에 바람이나 파도가 있게 되면 오차범위는 더욱 커지며 이들을 종합적으로 판단하여 부표를 설치하더라도 40~70 m 정도의

오차가 발생하게 된다. 작업선 계류 위치에 의한 오차의 경우 2점 계류에 의한 오차(앵커 길이는 수심의 3배)를 고려하면 수심 50~100 m 해역에서 유속이 0.25~1 % 일 경우 약 100~280 m 까지 오차가 야기될 수 있다.

7. 어초시설의 정밀시공 방법

본 연구에서는 주위에 지형지물을 이용하여 위치선정이 비교적 용이한 점을 이용하며 2점 계류방법으로 작업선을 시설위치에 고정시킨 후 어초간에 거리를 약 20 m 간격으로 시설하였다. 시설과정에서 조류의 세기와 방향에 의한 오차를 고려하여 예인선으로 작업선을 어초시설지에서 이탈되지 않도록 계속적으로 예인하였다. 그러나 어초 단체를 일정한 간격으로 시설시에는 2점 계류보다 4점 계류를 실시하는 것이 오차를 보다 크게 줄일 수 있으며, 이 경우에 있어서도 어초 배치도에 명시된 GPS 좌표에 시설지의 유속이나 유향에 의한 오차를 충분히 고려(계산)하여 부표의 진동 반경을 계산한 후 어초를 시설하게 되면 오차는 크게 줄일 수 있을 것이다. 이와 함께 작업선과 예인선의 유기적인 관계, 작업선의 작업원에 대한 위치 파악 등에 관한 사항을 시설전에 충분히 주지시켜야 할 것이다.

8. 인공어초 시설 전·후의 표본선 및 이용 어선의 어획효과 구명

통영해역 바다 목장화 조성지와 주변해역에서 낚시와 연승으로 전업을 하고 있는 어업인(3개 어촌계, 10명)에게 의뢰하여 조사한 결과, 금년도에는 대체로 예년에 비하여 어획 실적이 저조하였다. 주요 어획어종은 참돔, 조피볼락, 볼락이었으며, 특이한 것은 방류산이 많이 어획되고 있었다. 이들 어종에 대한 자연산과 방류산의 어획비율을 보면, 참돔의 경우 자연산 90%, 방류산 10%, 조피볼락의 경우 자연산 10~20%, 방류산 80~90%, 광어의 경우 20%, 방류산 80%정도가 어획되고 있었다. 조피볼락의 경우 어획량 중 방류산이 약 90% 이상을 차지하고 있어 바다 목장화 조성에 의한 효과가 어느 정도 가시화되고 있음을 알 수 있었다. 상자형어초는 2000년 11월 28일에 시설되었기 때문에 자료확보에 어려움이 있어 본 연구에서는 포함되지 않았으나 어업인들에게는 시설 사실을 통보하여 자료수집에 협조토록 하였다.

상자형어초 시설 후 잠수관찰에 의한 어초 시설상태와 삼중자망에 의한 어획조사를 실시한 결과, 상자형어초 시설지는 니사질, 패각질로 구성되어 있었으며, 어초의 매몰 깊이는 5~10 cm 정도였다. 잠수조사 결과 모든 어초는 정상적으로 시설되어 있었으며, 시설시 충격 등에 의한 파손 어초는 발견되지 않았다. 특히 시설지는 약간의 경사를 이루고 있었으나, 어초 저면에 부착된 팽이파일이 해저 퇴적층에 관입되므로써 어초의 안정성 증가와 경사도를 완화시키는 역할을 하는 것으로 관찰되었다. 삼중자망에 의한 어획조사 결과 어초 시설지에서 어획된 어종은 쥐노래미, 넙치, 참돔, 말쥐치 등 8종이 어획되었으며,

어획량은 10,820 g(폭당 2,164 g) 이었다.

9. 통영해역 바다 목장화 조성을 위한 최적 배치도(안)

통영해역 바다 목장화 조성을 위해 어초 기능별로 패류용 어초, 자치어용 보육초, 미성어 육성초, 친어 보호초, 성어 어획초 등으로 나누어 배치하는 방안을 검토하였다. 패류초는 시설 예정지 주위에 암반이 없는 곳에서는 어초를 서로 연계하여 병렬로 시설 하는 것이 바람직하며, 암반이 있을 경우에는 암반과 조합시켜 분산 배치하는 것이 바람직하다. 자치어용 보육초나 미성어 육성초는 기와초와 같이 내부구조가 복잡한 어초를 시설해야 하며, 어초의 시설 간격은 어초 시설 높이의 6배가 넘지 않는 것이 바람직하다. 친어의 보호초는 대상으로 하는 친어의 산란 생태에 적합한 구조를 갖는 어초를 시설해야 하며, 부착란을 산란하는 어류의 경우 표면적이 넓은 어초구조, 부성란의 경우 조류 등에 의해서 일산되지 않는 구조가 바람직하다. 이와 함께 난에서 부화한 치자어가 서식할 수 있는 보육용 어초도 친어용 어초와 함께 병행 시설하는 방법도 고려할 필요가 있다.

어초의 배치형태와 관련하여 자치어용 보육초나 미성어 육성초, 친어용 어초는 어초단체 간의 간격을 일정하게 시설하는 바둑판 모양이나 다이아몬드형 배치형태, 어획용 어초의 경우 깔때기형의 배치형태가 바람직할 것으로 판단된다. 사용어초 종류와 어초 배치형태와 관련하여 소형어초(높이 3 m 이하)와 대형어초(높이 3 m 이상)를 병행 시설하든지, 강제어초와 콘크리트 어초 혹은 강제침선어초와 콘크리트 어초를 조합하여 시설하는 것도 좋은 방법일 것이다.

그러나 여기서 제시된 최적 배치도(안)는 범용성을 갖는 모델이라 할지라도 동 배치도(안)를 보다 효율적으로 활용하기 위해서는 별도의 조사를 수행한 후 현장 여건에 맞게 탄력적으로 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 김창길, 1999. 우리나라 인공어초 技術開發 水準과 今後 開發 方向. 기르는 어업의 실현을 위한 인공어초 개발 방향에 관한 인공어초 국제세미나. 한국해양수산개발원, 2/1-19.
- 국립수산진흥원, 1989. 全國 沿岸 人工魚礁漁場 生産性 調査, 105.
- 국립수산진흥원, 1992. 한국 연안인공어초의 자원조성효과에 관한 연구, 국립수산진흥원 사업보고서 95호, 1-34.
- 국립수산진흥원, 1999. 통영해역 바다 목장화 연구개발 용역사업 보고서, 41-45.
- 국립수산진흥원, 2000. 강제어선의 인공어초 실용화에 관한 보고서, 12-17.
- 해양수산부, 2000. 인공어초시설사업집행및관리규정, 4-33.
- Kim, C. G., J. W. Lee, and J. S. Park, 1994. Artificial reef designs for Korean coastal waters. *Bull. of Marine Science*, 55 (2-3), 858-866.
- Kim, C. G., H. S. Kim, T. H. Kim, J. W. Lee, J. T. Kim and E. C. Jeong. 2000. Design of Box Reef for Marine Ranching in Tongyeong Coastal Waters, 2000, *Proceedings of International Symposium on Marine ranching toward 21st Century*, 167-181.
- Mehta, P. K. and P. J. M. Momteiro, 1993. *Concrete*, Prentice hall, 111-178.
- 金昌吉, 1996. 海洋構造物におけるアルカリシリカ反應に関する基礎的研究, 日本東北大學校博士學位論文, 41-55.
- 柿元 浩, 1968. 人工魚礁認定調査報告書 (1967~1969年), 新瀉水試, 25-35.
- 柿元 皓, 津村 憲, 野田 幹雄. 1998. 人工魚礁による漁場増殖場造成, 水産工學, Vol. 34(3), 305-311.
- 日本全國沿岸漁業振興開發協會, 1986. 沿岸漁場整備開發事業, 人工魚礁漁場造成計劃指針, 35-45.
- 日本水産資源保護協會, 1976. 人工魚礁 理論 實際 I, 35-45.
- 日本神奈川縣水指内灣支所, 1960. 魚礁效果調査報告 (1960~1961年), 32-37.
- 日本農林水産技術會議事務局, 1989. 海洋牧場, 601-617.
- 日本山形縣, 1983. 人工礁漁場造成事業調査報告書, 95-104.
- 日本宮城縣, 1986. 宮城中部海域總合開發事業調査報告書, 645-654.
- 三好 勝, 1964. 人工魚礁設置效果認定調査報告, 高知水試.
- 中村 充, 1991. 改訂水産土木. 工業時事通信士, 468-470.
- 宇野 寛, 1966. 漁場造成面積について, 人工魚礁研究 5:3.

佐藤 修, 1984. 人工魚礁, 恒星社厚生閣, 65-80.

佐藤 修, 1981. 海上位置の測定法と精度について, 北海道水産上木協會回報, 5, 3.

통영해역 바다 목장화 연구 개발 용역사업 보고서

- 기능성 인공어초에 의한 바다목장 조성

Studies on the Development of Marine
Ranching Program in Tong-yong, Korea

- Construction of marine ranching by functional
artificial reef

2002. 6



해양수산부
국립수산진흥원

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 『2001 통영해역의 바다 목장 연구개발 용역 사업 보고서』 중 “기능성 인공어초에 의한 바다목장 조성 연구”의 보고서로서 제출합니다.

2002. 6

주관 연구기관 : 한국해양연구소

총괄 연구 책임자 : 김종만

협동연구기관 : 국립수산과학원

세부과제 책임자 : 김창길(기능성 인공어초에 의한 바다목장 조성 연구)

연구원

국립수산진흥원 : 김창길, 김호상, 김태호, 백철인, 박영철, 박차수,
양용수, 배봉성, 하현철, 김용우

요 약 문

가능성 인공어초에 의한 어장조성 모델 개발연구에서는 통영해역 바다 목장 조성지 내 및 주변의 어초시설량, 바다목장 조성지 내에 시설된 상자형어초의 어획생산성, 인공어초에 의한 통영해역 바다목장 내의 적정 어장규모 산정, 참돔을 이용한 어초에서의 행동특성, 실내와 실외에서의 상자형어초의 저질조성별 내침하성 저면 구조 보강실험 등 5 항목에 대하여 조사를 수행하였다.

통영해역 바다목장 조성지 주변의 어초시설량 조사는 기존 자료를 이용하였고, 부족한 자료에 대해서는 Side Scan Sonar에 의해 보강하였으며, 바다목장 조성지에 시설된 상자형어초의 어획 생산성은 년 3회에 걸쳐 삼중자망과 잠수관찰에 의해 각각 조사하였다. 그리고 인공어초에 의한 통영해역 바다 목장의 적정어장 조성규모 산정은 기존 어초에서의 어획생산성 자료를 토대로 기대어획량에 대한 필요 어초어장규모를 구하여 제시하였다. 어초에서 참돔의 행동 및 이동경로 추적은 2001년 11월 24일에 실시하였으며, 상자형어초의 저질조성별 내침하성 저면구조 보강실험은 실내실험의 경우 삼각기둥, 사각기둥, 원기둥의 모형체를 사용하여 동하중 및 정하중 조건에서 실시하였고, 옥외 실험의 경우 상자형어초의 단위면적당 하중을 줄이는 방법을 이용하였다.

조사결과, 통영해역 바다 목장 조성지 내에 시설된 어초량은 713 ha이며, 상자형어초의 순어획생산성(상자형어초의 어획량에서 일반어장의 어획량을 뺀 값)은 폭당 2.6 kg이었고, 어획어종은 20종이었다. 이 값을 이용하여 통영바다목장 적정규모를 산정하면, 250톤의 어획량을 올리기 위해서는 약 2,448 ha의 어초면적이 필요한 것으로 나타났다. 어초에서 참돔의 행동 및 이동경로를 추적한 결과 어초어장에서는 약 30분간 머물렀으며, 그후는 어초가 없는 지역으로 이동하였다. 상자형 어초의 저질조성별 내침하성 저면구조 보강 조사와 관련하여 실내실험의 경우 각모형별 초기침하량은 전단강도에 반비례하며, 동적 침하량은 *K.C number*에 비례하였다. 그리고 옥외실험의 경우 기존 설계도 중에서 저판을 개선하여 단위면적당 하중을 0.119 kg/cm²로 제작하여 니사질해역에 시설한 결과 침하량은 약 50 cm 가량이었다.

Summary

Five major items for development of new fishing ground model by functional artificial reef were discussed; the amount of artificial reefs installed in Tongyeong marine ranching area, fisheries productivity of box reef, the maximum reef size for creation of Tongyeong marine ranching, migratory characteristics of fish (*Pagrus majorr*) released around box reefs, and reformation of bottom structure for minimizing settlement of box reef.

The amount of artificial reefs installed in Tongyeong marine ranching area was surveyed by the existing data, and by side scan sonar. Fisheries productivity of box reef was investigated three times a year with three-layer gill net and by SCUBA. The maximum size reef size was decided on the basis of net fish catch which subtracted total fish catch of natural reef from that of box reef. And migratory characteristics of porgy (*Pagrus majorr*) released around box reefs was tracked by telemetry. Also reformation of bottom structure for minimizing settlement of box reef was based upon decreased weight per unit area. Reformation of bottom structure was carried out in the indoor and outdoors, In the former experiment subsidence of three models blocks, triangle, square and circle, was observed under both static and dynamic conditions. In the latter slab type was surveyed as one of designed technique for improving bottom structure of box reef.

The results showed that, up until 2001, the total installment volume in Tongyeong marine ranching area amounts to 713 hectares and that fisheries productivity of box reef was 2.6 kg per reef set, and a total number of 20 fish species were caught at box reef site. In relation to maximum reef size, when the fish catch target at the reefs in Tongyeong marine ranching area is set at about 250 ton, the required reef size is estimated at about 2,448 hectares. Porgy released at the depth of 25 m was stayed for about 30 minutes around box reefs, and then migrated into the natural reef. In the experiment of model reef subsidence, circle of the three model blocks had the minimum subsidence under the static condition, and the amount of its subsidence decreased with an increase in the shear strength of mud used in the experiment. However subsidence of the three model blocks increased with an increase in *K.C number* under the dynamic condition such as flow and wave. On the other hand, settlement of box reef under the muddy sand was about 50 cm when weight per unit area of bottom structure is subjected to 0.119 kg/cm².

List of Tables

Table 1. Hydraulic conditions for subsidence experiments of model artificial reefs	8
Table 2. Size of thin plate of modified static thin plate subsidence instrument	9
Table 3. The principal specifications of wave-maker system used in the experiment ..	11
Table 4. The type and scale of reefs installed at marine ranching area (20 km ²) in Tongyeong ('78~'01)	18
Table 5. The type and scale of reefs installed around the marine ranching area (89 km ²) in Tongyeong ('79~'01)	19
Table 6. Classification of reefness of fishes caught from trammel net in box reef and natural reef	29

List of Figures

Fig. 1. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.	3
Fig. 2. Surveying paths of boat for searching reefs by Side Scan Sonar.	3
Fig. 3. Box reef (3×3×3 m).	4
Fig. 4. Porgy (<i>Pagrus major</i>) used to biotelemetry.	5
Fig. 5. Pinger used to radio tracking of porgy.	6
Fig. 6. View of attaching a pinger.	6
Fig. 7. Model of artificial reef used in the experiment. Numbers in Fig. indicate model type of artificial reef (1-3: pillar type, 4-6: pipe type, 7: dice reef).	7
Fig. 8. Instrument for Measuring subsidence of model reefs.	8
Fig. 9. Modified static thin plate subsidence instrument used in the experiment.	9
Fig. 10. Grain distribution curve of sediment used in the experiment.	10
Fig. 11. Experimental apparatus for measuring subsidence of model reefs under the dynamic conditions.	10
Fig. 12. Conditions for dimension analysis.	12
Fig. 13. Placing of concrete on the bottom of box reef.	16
Fig. 14. Finished box reef.	16
Fig. 15. Location of artificial reefs installed around the marine ranching area in	

Tongyeong ('78~'01).	20
Fig. 16. Location of artificial reefs installed at and around Tongyeong marine ranching area recorded on GPS of fishermen ('78~'01).	21
Fig. 17. Box reef illustrated by Side Scan Sona. Box reef is 3×3×3 m in volume. ...	22
Fig. 18. A olden fishing boat reef illustrated by Side Scan Sonar.	23
Fig. 19. Dice Reefs illustrated by Side Scan Sonar. A Dice reef is 2×2×2 m in volume.	24
Fig. 20. Structure of Box reef (3×3×3 m). It is composed of the outer box and the inner one. The left indicates detail drawing of the inner box.	25
Fig. 21. Water depth in marine ranching area.	27
Fig. 22. Deployment of Box reef in Tongyeong marine ranching area. Black circles in the figure indicate Box reef units.	28
Fig. 23. Ratio of reefness fishes caught from trammel net in box reef and natural reef. ..	30
Fig. 24. Comparison of fish biomass between Box reef and natural reef.	31
Fig. 25. View of radio tracking of fish (<i>Pagrus major</i>) by telemetry.	33
Fig. 26. Radio tracking of porge (<i>Pagrus major</i>) by telemetry. Red line in the fig. indicates migration of porge.	33
Fig. 27. Stabilization characteristics according to self-weight consolidation of the sediment under the static condition.	34
Fig. 28. Subsidence of three models(triangle, square, circle) under the static condition.	35
Fig. 29. View of subsidence of three models (triangle, square, circle) under the static condition.	36
Fig. 30. Subsidence of model dice reefs according to shear strength by different grain size under the static condition.	37
Fig. 31. Subsidence by self weight of model dice reefs under the static condition (L = 7 cm). ...	38
Fig. 32. Subsidence of model dice reef under the static condition (L = 7 cm).	38
Fig. 33. Comparison of subsidence of three models (triangle, square, circle) under the dynamic condition.	40
Fig. 34. Demonstration of subsidence process.	40
Fig. 35. Subsidence of model dice reef according to KC number under the different grain size.	41
Fig. 36. Subsidence velocity of model dice reef according to relative wave height under the different shear strength.	42
Fig. 37. Maximum subsidence of model dice reef according to shear strength under the different KC number.	42

Fig. 38. Subsidence velocity of model dice reef according to KC number. 43
Fig. 39. Subsidence of model dice reef according to time elapse in wave field. 45
Fig. 40. Subsidence of model dice reef according to time elapse in wave and flow
field. 45
Fig. 41. Maximum subsidence of model dice reef according to KC number. 46
Fig. 42. Subsidence velocity of model dice reef according to relative wave height. 46
Fig. 43. View of installing a modified box reef. 47

목 차

요 약 문	i
Summary	ii
List of Tables	iii
List of Figures	iii
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	2
1. 통영해역 바다 목장화 조성지 주변의 어초시설량 조사	2
2. 바다 목장화 조성지에 시설된 상자형어초의 어획 생산성 조사	2
3. 인공어초에 의한 통영해역 바다 목장의 적정어장 조성규모 구명	4
4. 어초에서 참돔의 행동 및 이동경로 추적	4
5. 상자형어초의 저질조성별 내침하성 저면구조 보강	5
가. 실내실험	7
(1) 재료 및 실험조건	7
(2) 실험방법	14
나. 옥외실험	15
III. 결과 및 토의	17
1. 통영해역 바다 목장 조성지 주변의 어초시설량 조사	17
2. 바다 목장화 조성지에 시설된 상자형어초의 어획 생산성 조사	25
가. 상자형어초의 특성 및 배치 형태	25
(1) 상자형어초의 특징	25
(2) 상자형어초 배치형태	26
(3) 상자형어초 시설 상태 및 규모	26
나. 상자형어초의 어업 생산성	27
(1) 어획어종의 어초성 비교	27
(2) 상자형어초 시설지와 자연초 수역에서 삼중자망에 의한 어획량 비교	30
3. 인공어초에 의한 통영해역 바다목장 적정어장 조성규모	31
4. 어초에서 참돔의 행동 및 이동경로 추적	32
5. 상자형어초의 저질조성별 내침하성 저면구조 개선	34
가. 실내실험	34
(1) 정하중 조건에서 인공어초의 침하·매물특성	34

(2) 동하중 조건에서 침하·매몰특성	39
나. 옥외실험	47
IV. 요약 및 결 론	48
참고 문헌	

I. 서론

바다목장화 조성의 목적은 바다의 생산력을 충분히 이용하거나 그 해역의 생산기구를 재편함으로써 어장을 종합화하고 생산의 효율화를 도모하여 대상종의 생산력을 향상시키는 데 있다. 유용종의 생산증강을 도모하기 위해서는 먼저 그 해역에 있어서 수용력이 문제가 되며, 원칙적으로는 바다의 수용력은 시간적 측면에서 보면 변동하는 것이지만, 그때 당시의 바다의 물리적 환경과 생물간의 경쟁에 의해서 포화상태로 되는 과정에서 균형을 유지하려고 한다.

따라서 그 해역에서 특정의 종을 증가시켜 새로운 바다의 생물환경을 조성하기 위해서는 인위적인 수용조건의 개량이 필요하다. 그의 대표적인 방법의 하나로는 어떤 해역에서의 시간적, 공간적 어업생산의 미이용 부분을 유효하게 이용하는 것이다. 이것에 대한 주요한 접근 방법으로는 대상해역을 적극적(직접적)으로 이용하는 방법인 자원첨가 이용형과 소극적(간접적) 이용방법인 잠재자원 이용형을 들 수 있다(日本農林技術會事務局, 1989). 전자는 미이용 자원을 증강하고자 할 경우에는 현재의 연쇄계의 수용력 안에서 자원을 투입(종묘방류)한다든지, 수용력의 일부를 공간적으로 구획하고 먹이를 투입하여 양식종을 육성(양식)하는 방법을 말한다. 한편, 후자는 현행 연쇄계를 인위적 수단에 의해서 확대한다든지, 혹은 기초생산력을 증강함으로써 간접적으로 자원의 증가를 도모하는 방법을 말한다. 하지만, 어떤 방법으로 대상해역을 개발하여 이용할 것인가에 대한 것은 해역마다 특성이 다르기 때문에 일률적으로 적용하기는 어려우며, 대상해역을 잘 파악하여 그 해역의 특성에 적합한 어장조성 개발방법을 도입해야 한다.

통영해역은 서식 어종이 풍부하여 낚시, 통발, 유자망 등 다양한 어법이 행하여지고 있으며, 삼중자망, 소형기선저인망 등에 의한 불법 어업도 빈번한 곳이다. 또한, 육지로부터 각종 오염물질이 유입되어 오염으로 인해 해역의 생산력이 크게 저하되어 있다. 이러한 어업실정을 감안할 때 통영해역 바다목장화의 조성에 필요한 기술로는 자원잠재력 이용형에 자원첨가 이용형을 가미한 복합형이 적합하다고 판단된다. 즉, 해역의 기초 생산력을 증가시켜 해역내의 서식 어종의 재생산력의 증강을 도모하는 자원잠재력 이용형에 해역에 서식하고 있는 어종을 대상으로 종묘를 인공적으로 생산하여 방류함으로써 보다 짧은 기간에 자원을 증대시킬 수 있는 자원첨가 이용형의 방법으로 보완한 복합형 기술이다. 전자는 통영해역에 출현하는 어종에 대해 서식 생태 습성을 파악하여 이들 어종의 서식에 필요한 먹이 생물 증대, 산란장 및 자치어 보육장 조성, 어획강도 저하 등을 위해 현행 연쇄계를 인위적 수단으로 개선시켜 산란에서 자치어 및 성어에 이르기까지 자원의 재생산력을 높이는 기술이다. 또한 후자는 통영해역에 서식하는 어종으로서 최근에 급격히 자원량이 감소한 어종을 선택하여 인공적으로 생산한 종묘를 방류하여 짧은 기간 내에 자원을 증강시키는 기술이다. 종묘방류 어종과 관련해서는 양식 어종으로 널리 이용되

는 비교적 고급 어종인 조피볼락을 주 대상 어종으로 선정하였다.

통영해역 바다 목장 개발 연구는 1998년부터 시작하였으며, 2000년까지는 바다 목장 조성에 필요한 기반조사를 실시하였다. 그리고 2001년부터 2004년까지는 조사된 자료를 토대로 바다 목장조성에 필요한 관련 기술을 적용하고 동 기술을 타 해역 바다 목장 조성시 적용할 수 있도록 적용과정에서 나타난 문제점을 분석하고 관련 기술을 향상시켜 나아갈 예정이다. 2001년에는 기능성 어초인 상자형어초에 대한 기존 어초와 시설효과 비교, 통영해역 바다 목장화 조성지 주변의 어초시설량, 바다 목장 조성지 내에 시설된 상자형어초의 어획생산성, 인공어초에 의한 적정 어장규모 산정, 어초에서의 참돔 행동특성 및 상자형어초의 저질조성별 내침하성 저면 구조에 대한 실내실험과 아울러 저면구조를 개선하여 시험하였다.

II. 재료 및 방법

1. 통영해역 바다 목장화 조성지 주변의 어초시설량 조사

바다목장 조성지 89 km² 내에 기존으로 시설되어 있는 어초시설에 대하여 6개소를 표본으로 선정하여 단위어초의 시설 위치, 수량, 높이 및 면적 등에 대하여 조사하였다. 또한 이들 수역에 시설된 2001년도까지의 자료를 전수조사하였고 이곳을 이용하는 현지 어업인들의 낚시어업이 이루어지고 있는 어장들을 파악하여 시설위치를 해도상에 표시하여 어초시설과 비교하였다(그림 1, 2).

어초시설자료는 지역별, 연도별, 어초종류별로 정리하였으며 이들 어초시설중 일부는 Side Scan Sonar를 이용하여 현장에서 위치확인과 아울러 단위어초의 규모 등도 조사하였다. 그리고 통영해역바다목장용으로 개발된 상자형어초 시설은 Side Scan Sonar 및 잠수촬영으로 정밀조사를 실시하였다(그림 3).

2. 바다 목장화 조성지에 시설된 상자형어초의 어획 생산성 조사

통영해역 바다목장 조성 전용 어초로 개발한 상자형어초와 동 어초 주위에 있는 자연어초에 대한 시험조업 조사를 실시하였다. 조사 항목은 어초에서의 어류의 위집상태, 어획량, 어종수, 어획어종의 어초성 분류 등이다. 어초에서 어류 위집 상태조사는 전문 잠수부에 의해 실시하였으며, 어획조사는 삼중자망(길이 70 m, 높이 2 m)를 사용하였다. 사용 폭수는 1회에 3폭을 사용하였으며, 어구 설치는 일몰 시에 투망하고 일출시에 양망하였고, 어구 침지 시간은 13시간 정도였다. 어획량은 폭당 어획량으로 환산하였고, 어종수는 사용 폭수에 대하여 모두 조사하였다.

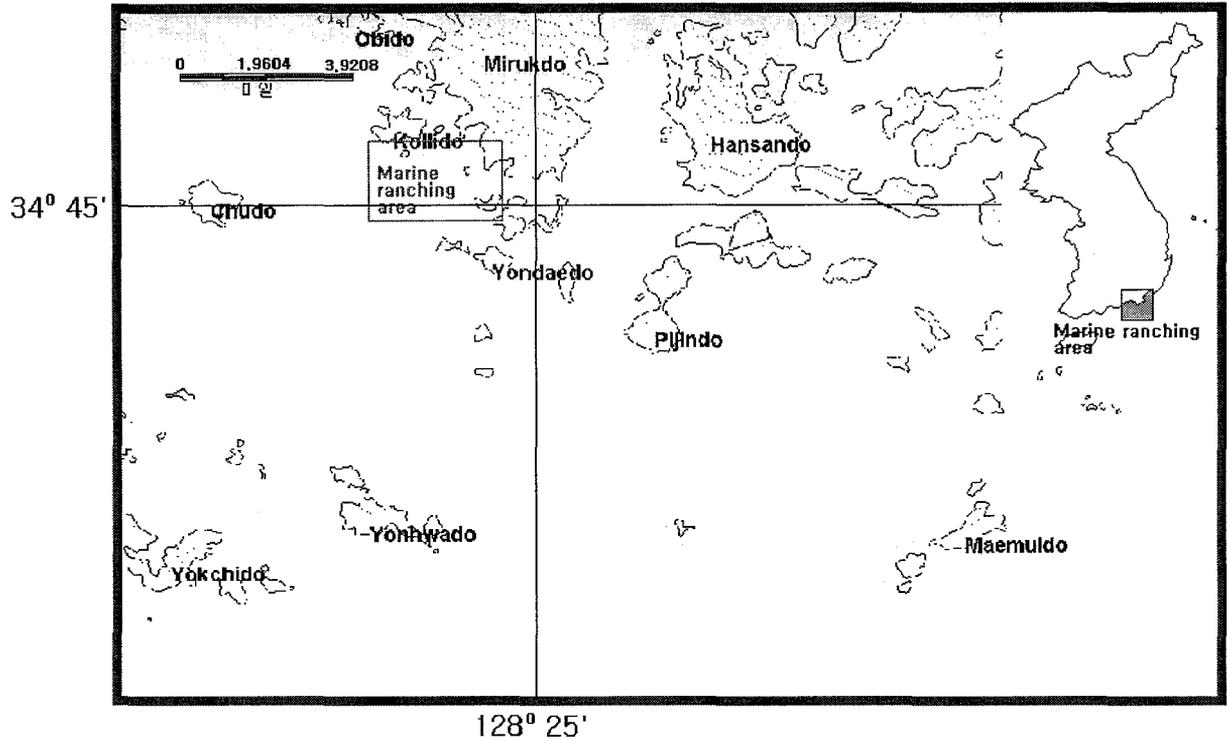


그림 1. 통영해역 바다목장화 조성지.

Fig. 1. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.

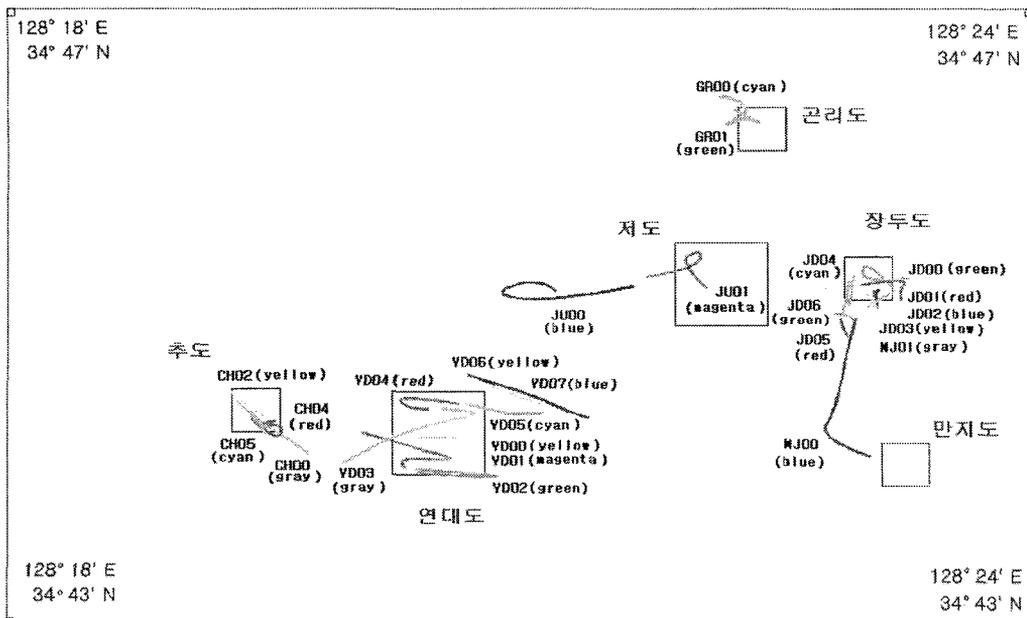


그림 2. Side Scan Sonar에 의한 어초 탐색 경로.

Fig. 2. Surveying paths of boat for searching reefs by Side Scan Sonar.

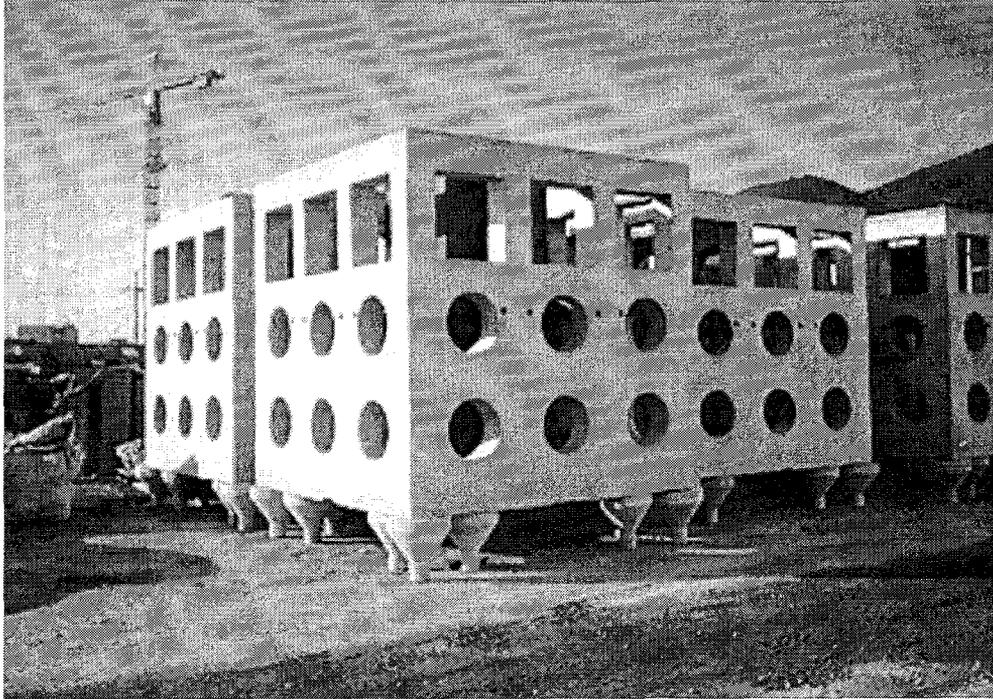


그림 3. 상자형어초 (3×3×3 m).

Fig. 3. Box reef (3×3×3 m).

3. 인공어초에 의한 통영해역 바다 목장의 적정어장 조성규모 구명

통영해역에 바다목장을 조성하기 위한 적정 어초어장 규모 산정은 어초어장 조성에 의한 기대생산량(증산량)을 이용하여 다음 식으로 구하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{증산량} &= \text{어종별 CPUE(어초어장 - 일반어장)} \text{ (kg/어구 사용폭수)} \\
 &\quad \times \text{척당 노력량(어구 사용폭수/척)} \\
 &\quad \times \text{조업 일수(일/년)} \\
 &\quad \times \text{조업 척수(척/일)}
 \end{aligned}$$

증산량을 구함에 있어 필요한 인자는 상자형어초에서 얻어진 자료를 사용하였으며, 어구는 삼중자망을 이용하였다.

4. 어초에서 참돔의 행동 및 이동경로 추적

상자형어초 시설지에서 참돔의 행동(이동) 특성을 조사하기 위하여 2001년 11월 24일 자연산 참돔(체장 45 cm, 중량 1,200 kg)에 핑거장치 V8SCIH, 66 KHz, Pulse 주기; 1초)를 장착하여 통영 바다목장지역인 수심 25 m에 시설된 상자형어초에서 잠수부를 이용하

여 방류하였다(그림 4, 5). 실험에 사용된 자연산 참돔은 낚시로 어획된 것으로 4마리 구입하여 1주야간 해상가두리에서 적응시킨 후에 4마리 중 가장 활력이 있는 1마리를 시험어로 채택하였다.

핑거는 후복부 뒷쪽의 뒷지느러미 극조부에 실로 매달아 방류하였으며, 추적은 수신기를 적재한 16톤 규모의 선박을 사용하여 실시하였다(그림 6). 조사는 핑거를 장착한 참돔을 방류한 후에 핑거에서 발신되는 음을 수신부로 추적하면서 실시하고, 어초에서 체류하는 시간, 이동경로 등을 조사하였다.

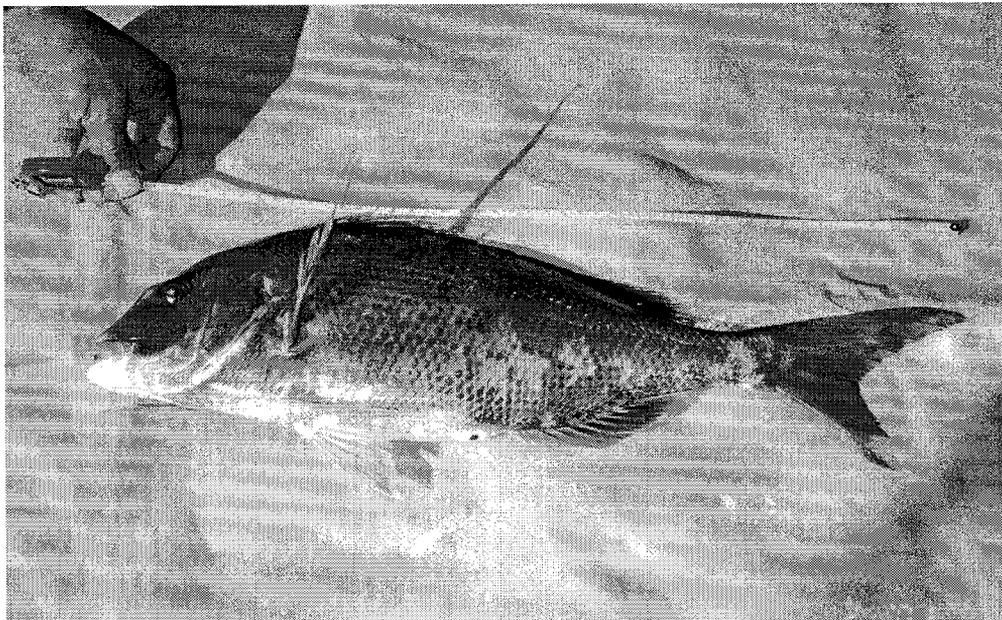


그림 4. Biotelemetry에 사용된 참돔.

Fig. 4. Porgy (*Pagrus major*) used to biotelemetry.

5. 상자형어초의 저질조성별 내침하성 저면구조 보강

통영해역 바다목장 조성 전용 어초로 개발한 상자형어초에 대하여 연약지반에서 시설할 수 있도록 침하 최소화를 위하여 저판 기초부에 대한 구조 개선을 실시하였다. 이를 위해 실제 해역에서 니질(점성토)을 채취하여 실내 수조에서 실제 현장을 재현하고, 단순 모형체와 모형어초 2가지의 경우에 대하여 실내실험으로 침하현상에 대한 경향을 파악하였다. 모형체의 형상은 삼각기둥, 사각기둥, 원기둥을 사용하여 실제 현장에서 일어날 수 있는 접지면의 여러 모양을 단순화하여 삼각형, 사각형, 원형에 대하여 실험을 실시하였다. 또한 실험에 사용된 모형 어초는 실제 어초의 1/44~1/46 크기로 축소하여 사용하였다.

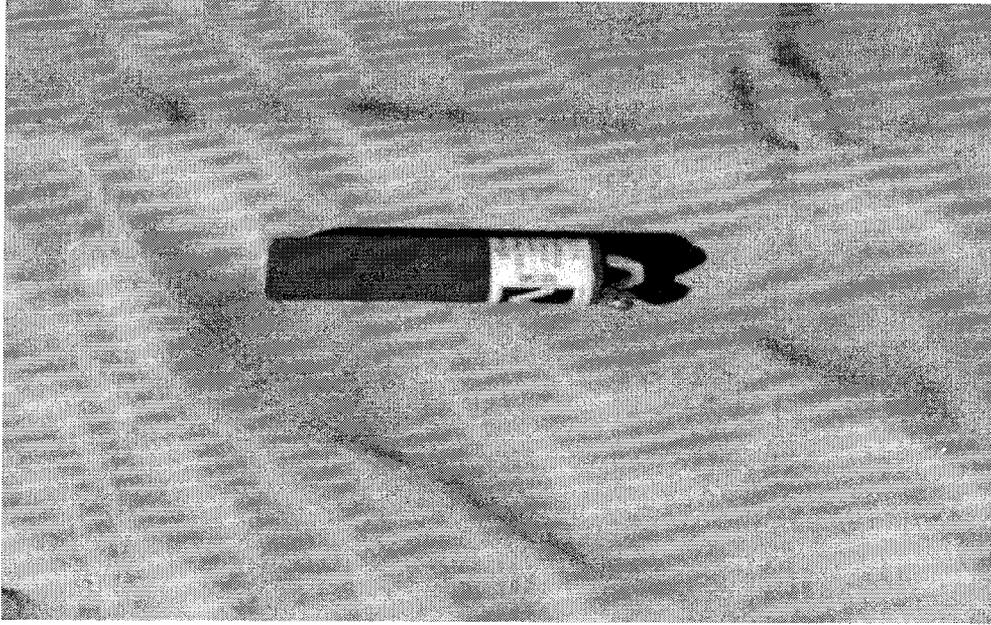


그림 5. 참돔의 이동 추적에 사용된 핑거.

Fig. 5. Pinger used to radio tracking of porgy.

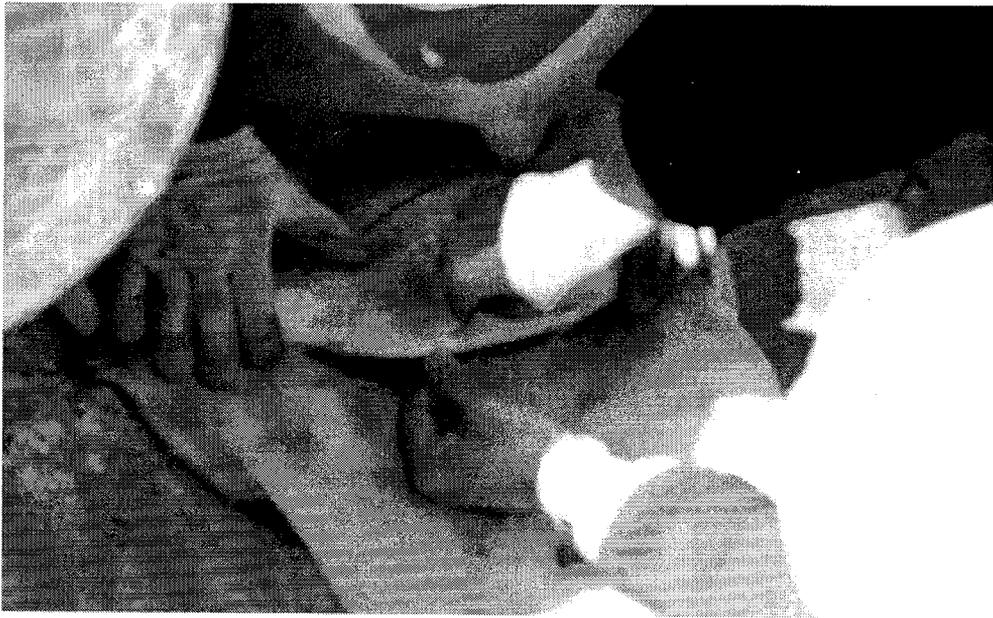


그림 6. 핑거 장착 장면.

Fig. 6. View of attaching a pinger.

실험은 연약지반에서 모형체나 모형 어초별 단위하중당 침하량을 구하였고, 침하량은 정하중 및 조류나 파랑에 의한 동하중이 작용할 경우에 대하여 각각 조사하였으며, 즉시침하량과 압밀침하량을 구하여 나타냈다. 자료의 분석은 2단계로 실시하였으며, 먼저 기존 해양환경에서의 니질의 특성과 침하량 측정을 위한 적정 모델식을 고찰하고, 그 다음은 이들 식을 적용하여 어초의 단위하중당 침하량을 측정하였다. 그리고 이 값을 상자형어초에 적용하여 제작하고, 제작된 상자형어초를 해저 저질이 니질인 연약 해저면에 시설하여 실험에서의 침하 경향을 분석하여 이에 적정한 설계 변경 및 대응 방안을 마련하고자 하였다.

가. 실내실험

(1) 재료 및 실험조건

실험에 사용된 저질은 Sandy mud, Mud였으며, 파랑조건은 파고 3~16 cm, 주기 0.7~1.5 s였다. 모형체는 삼각, 사각, 원형 등의 여러 저면형상을 갖는 것과 실제 사각어초를 축소한 것을 사용하였다(그림 7, 표 1). 계측장비로서는 3개의 용량식 파고계, 1개의 도플러 유속계, 침하량 측정기(그림 8, 표 2), 비디오 카메라, 디지털 카메라, 정밀스케일바, 수준측량기, 얇은판관입시험기(그림 9)를 사용하였다. 실험에 사용된 저질의 입도는 조사된 실험에서의 연약지반(니질 등)을 구성하는 대표입경 세 종류를 사용하였다. 대표입경은 d_{50} 이 0.008, 0.010, 0.039 mm의 세가지이다(그림 10). 동하중 조건에서의 침하특성을 조사하기위해 사용된 2D 조파수조의 제원 및 형태는 표 3 및 그림 11과 같다.

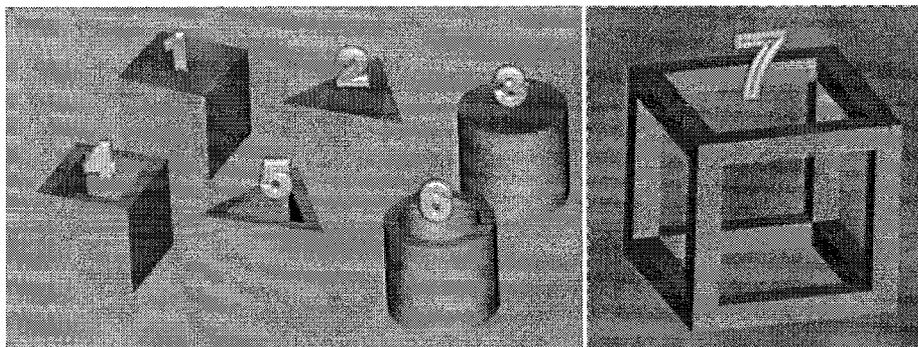


그림 7. 실험에 사용한 모형체 및 모형 어초.

Fig. 7. Model of artificial reef used in the experiment. Numbers in Fig. indicate model type of artificial reef (1-3: pillar type, 4-6: pipe type, 7: dice reef).

표 1. 인공어초 침하실험조건

Table 1. Hydraulic conditions for subsidence experiments of model artificial reefs

Terms	Scale
Wave period	0.7~1.5 s
Wave height	0.03~0.157 m
Similarity rate	1/44, 1/46
Weight of model	24, 34, 39 g
Width of model	0.043 ~0.046 m
Velocity	0.07~0.38 m/s
Wave length	1.54~3.66 m
KC number	0.5~5.00
Re number	3345~17123
Sediments' shearstrength	0.00024~0.0027 tf/m ²
Water ratio	80~85 %
Specific gravity of sediments	2.670
Porosity	2.22
Buoyant unit weight	0.52 tf/m ³
Size of sediment box used in the experiment	50×20×7 cm 26×22×10 cm
Bottom slope	1 : 20, 1 : 40
Water depth of reef installation	0.26, 0.6 m

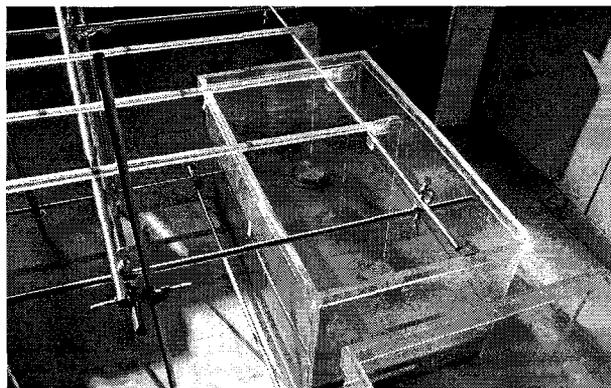


그림 8. 모형 어초의 침하측정장치.

Fig. 8. Instrument for Measuring subsidence of model reefs.

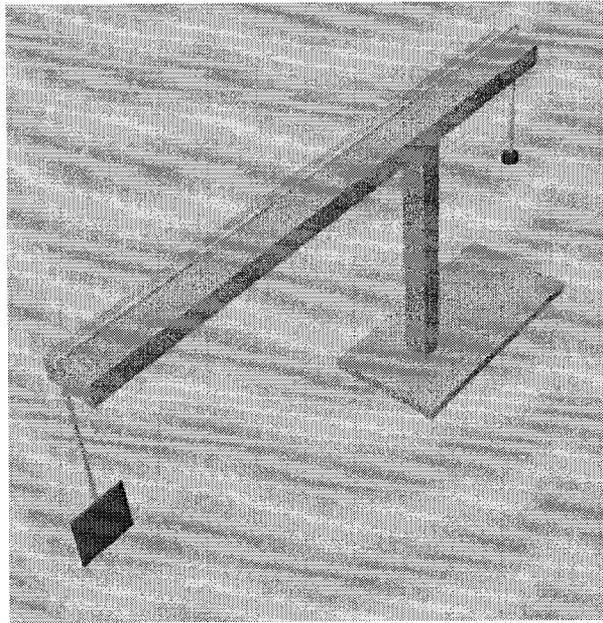


그림 9. 침하실험에 사용된 개량한 얇은판관입시험기.

Fig. 9. Modified static thin plate subsidence instrument used in the experiment.

표 2. 얇은판관입시험기에 사용된 얇은판의 제원

Table 2. Size of thin plate of modified static thin plate subsidence instrument

Terms	Scale
Weight	30.60g
Thickness	0.05 cm
Length	16 cm
Height	5 cm

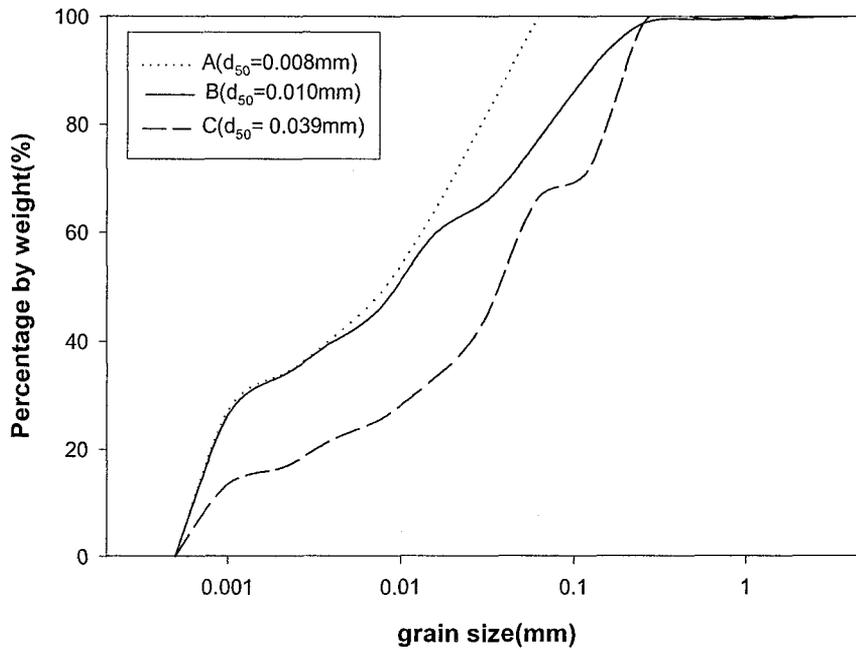


그림 10. 실험에 사용된 저질의 입도분포곡선.

Fig. 10. Grain distribution curve of sediment used in the experiment.

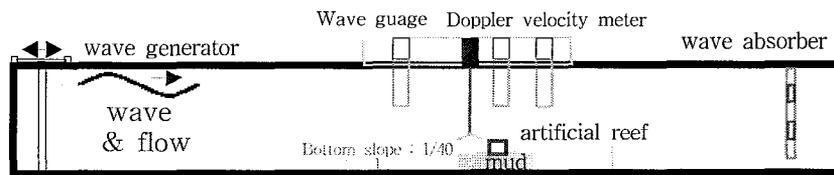


그림 11. 동하중 상태에서 모형어초의 침하 실험에 사용된 수조.

Fig. 11. Experimental apparatus for measuring subsidence of model reefs under the dynamic conditions.

표 3. 실험에 사용된 조파장치의 제원

Table 3. The principal specifications of wave-maker system used in the experiment

Arrangement	1.0(W)×1.0(D)×35.0(L) m App.
Size of wave-maker board	0.98(W)×1.00(H) m App.
Maximum water depth	0.7 m
Maximum wave height	0.30(±0.15 m), (front wave board)
Wave period	0.5~5.0 sec
Type of Motor	AC Servo Motor
Structure of installment	standing by self-weight
Type of wave-maker	Piston Type Regular & Irregular

(가) 실험에 사용된 영향인자

인공어초의 침하 실험에 고려되어야 할 물리량으로는 재료에 관한 변수, 구조물에 관한 변수, 물리적 특성 및 현상에 관한 변수, 파랑 및 흐름에 관한 변수로 나눌 수 있다 (그림 12). 재료에 관한 변수로는 저질의 입경(d), 공극율(e), 함수비(w), 압축지수(C_c), 저질층의 깊이(l), 탄성계수(E), 저질의 단위중량(r), 프와송비(μ_s), 저질의 밀도(ρ_b), 물의 밀도(ρ_w), 균등계수(C_u) 등이다. 구조물에 관한 변수로는 인공어초의 중량(W), 인공어초의 형상계수(α, β), 인공어초의 대표길이(D), 인공어초의 접지압(q_a), 인공어초의 수중접지압(q_w), 인공어초의 밀도(ρ_a), 얇은판의 중량(W_f)이다.

한편, 물리적 특성 및 현상에 관한 변수는 중력가속도(g), 하중재하시간(t), 전단강도(τ), 해저경사(i), 침하량(d_s), 최종침하량(d_e), 정적침하량(d_{im}), 동적침하량(d_d), 지지력(q_u), 해저지반 표면의 수압변동(P_b), 침하속도(U_{sv}), 정적침하속도(U_{stat}), 동적침하속도(U_{dyna}), 이론식으로 구한 침하량의 속도(U_0)이며, 파랑 및 흐름에 관한 변수는

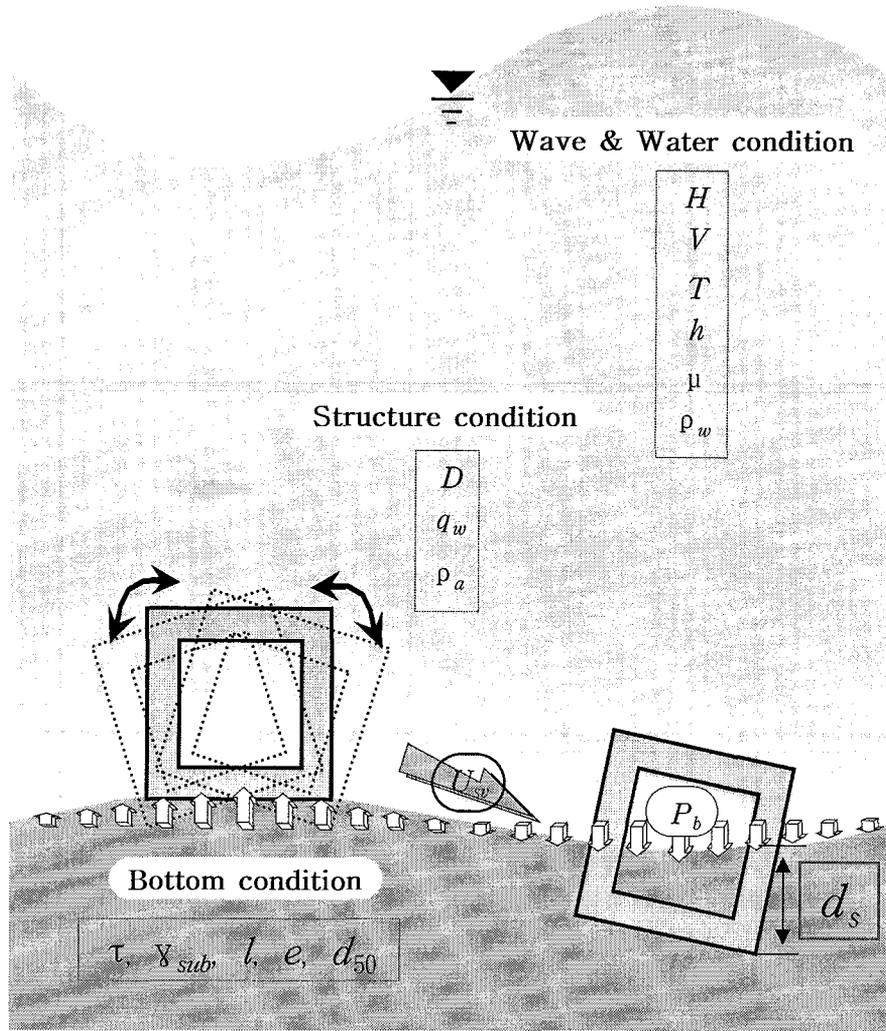


그림 12. 실험에 사용된 차원해석 조건.

Fig. 12. Conditions for dimension analysis.

파고(H), 주기(T), 파장(L), 수립자속도(V), 수심(h)이다.

(나) 영향인자에 대한 해석

실험을 수행하기 이전에는 실험의 정확성, 효율성을 위하여 차원해석을 시행하여 핵심이 되는 물리량간의 관계를 파악하여야 한다. 인공어초의 침하·매몰을 일으키는 기본물리량으로 침하깊이 d_s 를 어떠한 무차원량으로 표현할 수 있는가를 고려하는 것이다. 앞에서 나열한 변수들은 간단히 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(H, T, V, \rho, \mu, d, h, l, g, D, d_{50}, \dots) = 0$$

위 변수들 중에서 본 연구에서 고려된 인자는 인공어초의 형상계수(α, β), 인공어초의 수중접지압(q_w), 지속시간(t), 침하깊이(d_s), 지지력(q), 해저지반 표면의 수압변동(P_b), 파고(H), 주기(T), 지반의 전단강도(τ)이다.

모형어초의 침하량을 조사함에 있어 인공어초의 침하량 d_s 를 종속변수로 하고, 고려된 독립변수에서 D, μ, V 를 반복변수로 하여 Buckingham의 π 정리로부터 정리하고 각 무차원량을 물리적 해석이 용이하도록 정리하면 무차원 침하량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d_s}{D} = \left\{ \frac{t}{T}, \frac{VT}{D}, \frac{\tau}{\rho_b V^2}, \frac{V^3 E}{\rho D^4}, \frac{V}{\sqrt{gD}}, \frac{\rho_a - \rho_b}{\rho_w - \rho_b}, \frac{P_b}{\rho_b V^2}, \frac{VD}{v}, c_w, \frac{d_{50}}{D}, \right. \\ \left. \frac{U_0 t}{h}, \frac{\tau}{q_w}, \frac{H}{h}, \frac{H}{D}, \frac{W}{H^2 \rho_b V^2}, \frac{U^2}{gd_{50} \left(\frac{\rho_b}{\rho_w} - 1 \right)} \right\}$$

이러한 무차원량 중에서 연약해저지반 위에 설치된 인공어초의 침하에 큰 영향을 미치는 파라미터는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d_s}{D} = \left\{ \frac{t}{T}, KC \text{ number}, \frac{H}{h}, \frac{\tau}{q_w}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{U_0 t}{h} \right\}$$

한편 인공어초의 설계·보존·관리차원에서 보다 효율적인 침하량의 예측이 중요하므로 외력에 대한 인공어초의 침하속도를 고려할 필요가 있다. 따라서, 종속변수인 d_s/D 를 침하속도파라미터인 $\frac{U_{dyna.}}{U_{stat.}}$ 로 고려할 수 있으며, 이를 위해 침하를 발생시키는 외력의 강도를 시간과 함께 고려하였다.

이것은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{U_{dyna.}}{U_{stat.}} = \left\{ KC \text{ number}, \frac{H}{h}, \frac{\tau}{q_w}, \frac{d_{50}}{D} \right\}$$

본 실험은 중력의 영향이 지배적이므로 프루드 상사법칙을 사용하였다.

(2) 실험방법

실험은 정하중 및 동하중 모형실험을 통해 현장의 조건을 최대한 재현하고 가장 중요한 영향인자를 고려하여 연약해저지반 위에 설치된 모형어초의 침하량을 시간에 따라 계측하였다. 일반적으로 점성토에서는 정적인 재하에 대해서 약하나, 지진시 등의 동적인 외력의 작용은 문제가 되지 않는다. 그러나, 이것은 육상에서의 조건으로 수중의 경우 또 다른 외력으로서 흐름과 파랑이 있는 해저지반에 있어서는 그 영향을 부가하여 고려할 필요가 있다. 왜냐하면, 육지에서의 연약점토보다 해저인 경우 더욱더 연약하여 미소한 하중도 상대적으로 매몰에 더 크게 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 또한 육상과는 다르게 수평하중, 경사하중이 작용하기 때문이다. 따라서, 본 실험에서는 연약점토의 사용으로 인해 일반적으로 사용되는 방법으로 강도를 측정하기가 거의 불가능하였기 때문에 얇은판 관입시험(Lee, 1994)을 통한 저질의 전단강도를 측정하였다.

실험의 주요한 준비단계로서는 먼저 실험조건에 맞는 구조물을 제작하고 미리 준비해 둔 저질로 지반을 형성한 후 해당하는 외력을 실험대상영역에 작용시켰다. 먼저 저질은 대표입경이 다른 3종류의 것을 사용하였고 대표입경 0.010 mm이외의 저질은 상당히 교란된 상태로서 대표입경 0.008 mm저질은 위의 저질을 표준체로(0.0625 mm) 걸러서 만들었으며, 대표입경 0.039 mm의 저질은 대표입경 0.010 mm의 것과 대표입경 0.18 mm의 저질을 혼합하여 만들었다. 그러나 실제 실험에 있어서는 이중 가장 교란이 되지않은 대표입경 0.01 mm의 저질을 사용하였다. 교란된 저질에 대해서는 가능한 균질하고 강도를 발현할 수 있는 모형지반을 형성하기 위해 고함수비 상태의 시료를 충분히 교반시킨 후, 침강→퇴적→자중압밀의 과정을 거쳐 안정화시켰다.

사질토와 달리 점성토는 입경이 작아서 빨리 가라앉지 않으며 교반후 대개 20~120분 후에 안정화되었다. 그러나 실험의 신뢰성을 높이기 위해 정하중실험의 경우는 교반후 최대 1개월, 동하중실험의 경우 미리 안정화된 저질을 저질상자에 넣고 최소 2시간 뒤에 모형을 적재하고 침하량 계측을 하였다. 본 실험에서 침하량 측정위치는 모형어초의 여러 위치에 대하여 최대침하가 발생한 곳의 연직최대깊이로 하였으며, 비디오카메라, 디지털카메라, 침하측정기, 정밀스케일바를 이용하여 계측하였다.

(가) 정하중 실험

실험에 사용된 대표 입경은 0.008, 0.010, 0.039 mm의 3 종류였고 모형의 저면형상은 삼각, 사각, 원이었다. 각 모형의 크기는 사각형의 경우 7.1×7.1×7.1 cm, 삼각은 모든 변이 10.8 cm이며, 원형은 $\phi 8.1$ cm인 것과 사각형의 경우 3.1×3.1×3.1 cm, 삼각은 모든 변이 3.7 cm이며, 원형은 $\phi 3.5$ cm인 것의 두 가지를 사용하였다. 형상별 침하특성을 구명함에 있어 접지면적과 중량은 동일하게 하였다.

침하량은 시간(t)을 실내수조에서의 모형 설치수심(h)으로 나눈 값에 대하여 침하속도(U_0)로 곱하여 무차원화하여 나타냈다. U_0 의 산정에 있어 탄성계수는 210 t/m²으로

가정하였다. 이 이하의 값은 토질역학적으로 흙이 매우 연약한 것으로 간주된다. 이 값은 일반적으로 육지에서 사용되는 근사값이므로 본 연구에서와 같이 해저연약지반인 경우에는 훨씬 더 작을 것이라고 예상된다. 여기서, U_0 는 전침하량을 경과된 시간으로 나눈 값인데 초기침하량은 Harr식을 이용하였고, 압밀침하량은 Terzaghi식을 이용하여 계산하였다.

(나) 동하중 실험

총 50개의 실험case로 나누어 실험을 수행하였는데 2차원 조파수조에서 흐름만을 주었을 때, 파랑만을 주었을 때, 그리고 흐름과 파랑을 함께 주었을 때의 모형인공어초 침하량을 계측하였다. 모형형상은 정하중 조건에서 사용한 것과 같으며, 실제 사용된 사각어초 ($2 \times 2 \times 2$ m)의 것을 $1/44 \sim 1/46$ 으로 축소하여 사용하였다.

실험은 흐름장, 파동장 그리고 흐름과 파동이 공존하는 장에서 실시하였다. 실험시간은 2시간이며 파동장과 공존장 모두 파고(H) 3.5~15.0 cm, 주기 0.7~1.5 s를 사용하였다. 한편 흐름장에서의 유속은 최대 0.24 %이며, 파랑장은 0.07~0.14 %이고, 공존장은 0.23~0.38 %였다.

나. 옥외실험

상자형어초의 시설 후 침하를 최소화하는 방안의 하나로 기존 상자형어초의 접지면을 넓게 하여 단위면적당 하중을 줄이는 방법을 채택하여 기존 상자형어초의 단위면적당 하중(0.264 kg/cm^2)에 비하여 55%(0.119 kg/cm^2) 감소된 연약지반용 상자형어초를 제작하였다. 이를 위해 저판의 넓이는 6.5 m^2 ($3 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2 + 0.25 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2$)로 제작한 후 사천해역 수심 10 m 전후의 지역에 시설하였다(그림 13, 14).

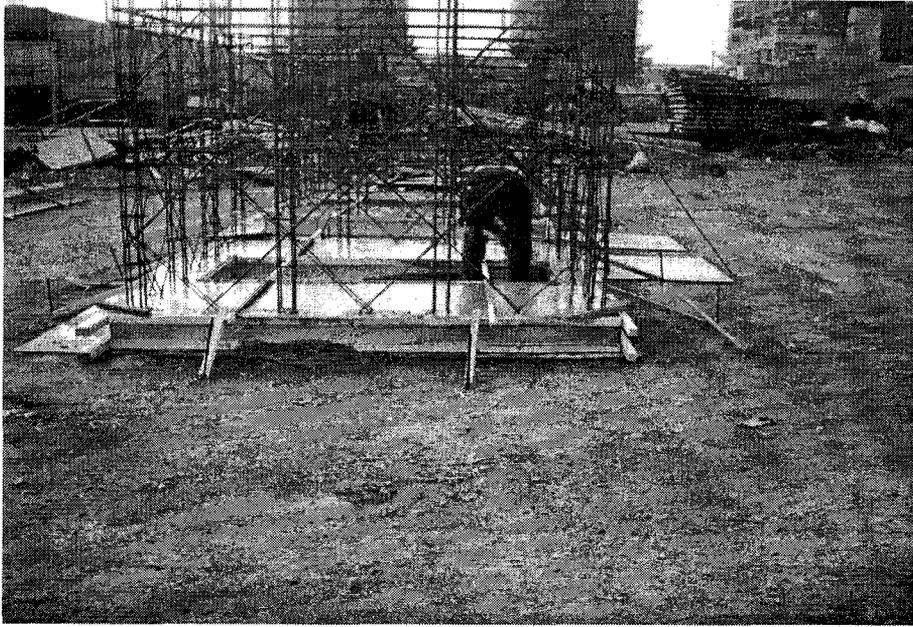


그림 13. 상자형어초 저판 콘크리트 타설.

Fig. 13. Placing of concrete on the bottom of box reef.

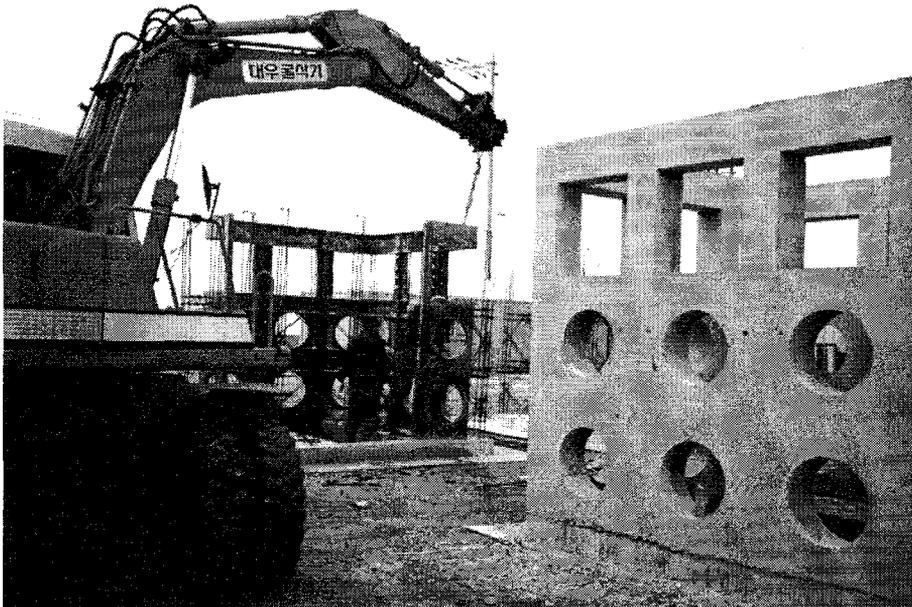


그림 14. 완성된 상자형어초.

Fig. 14. Finished box reef.

Ⅲ. 결과 및 토의

1. 통영해역 바다 목장 조성지 주변의 어초시설량 조사

어류는 성장 단계, 계절 등에 따라 적합한 서식환경으로 이동한다. 통영 해역에 있어서도 예외는 아니며, 많은 어류는 봄부터 가을까지 바다목장 해역을 중심으로 서식하다가 수온이 낮아짐에 따라 매물도 등 수심이 깊은 곳으로 이동(회유)한다. 어업인들에 의하면, 이동의 경향은 해마다 다르나 대개는 어초와 자연초 등이 있는 곳에 머무르다가 계절 변화에 따른 수온 등의 환경조건에 따라 깊은 곳으로 이동하는 것으로 알려져 있다. 따라서 어초는 어류의 서식환경을 개선해 주는 하나의 중요한 수단으로서 자원을 증식하는데 큰 역할을 하고 있다고 할 수 있다. 자원조성 과정에서 인공어초의 시설을 통한 어업 생산량을 증강시키고자 할 경우, 내유 자원량이나 기존 어초어장에서 조업 자료를 토대로 어초어장의 증산량을 계산할 수 있다. 이 경우 목표로 하는 어업생산량을 달성함에 있어서 이미 시설된 어초만으로 가능한가 혹은 새로운 어초의 시설이 필요한가를 파악해야 한다. 따라서 바다 목장화 사업을 수행함에 있어 기존 어초의 시설 현황 파악은 중요한 의미를 갖는 것이다.

표 4, 5는 통영해역 바다목장 지역(20 km²) 및 주변 지역(89 km²)에 시설된 어초의 종류 및 시설량을 나타낸 것이다. 먼저 바다 목장 20 km² 지역내에 시설된 어초의 량은 646 ha이며, 어초의 종류는 소형 사각형어초(1×1×1 m), 사각형어초(2×2×2 m), 반구형어초(φ2.0×1.3 m), 고선어초 등 4종이다. 시설장소를 보면, 반구형어초 등 패·조류용 어초는 14개소(256 ha), 사각형어초 및 고선어초 등 어류용 어초는 4개소(457 ha)이다. 시설년도는 어류용 어초의 경우 1978년, 패·조류용 어초의 경우 1993년부터 각각 시설하였다. 연대별 시설량을 보면, 어류용 어초의 경우 1970년대 56 ha(1,400개), 1980년대 337 ha(2,590개), 1990년대 64 ha(400개)로 1990년대 이후는 어류용 어초의 시설은 감소하고 대신 패·조류를 대상으로 하는 어초가 많이 시설되고 있다.

한편, 통영해역 바다목장 주변 지역(89 km²)에 시설된 어초 시설면적은 1,095.5 ha이며, 종류는 사각형어초(2×2×2 m), 반구형어초(φ2.0×1.3 m), 고선어초 등 3종이다. 시설장소는 패·조류용 어초의 경우 1개소(47.5 ha), 어류용 어초인 사각형어초 및 고선어초는 6개소(1,086 ha)이다. 시설년도는 어류용 어초의 경우 1982년, 패·조류용 어초의 경우 1996년부터 각각 시설하였다. 연대별 시설량을 보면, 어류용 어초의 경우 1980년대 129 ha(100척), 1990년대 1,004.5 ha(6,536개)가 시설되었으며 1980년대에는 고선을 그리고 1990년부터는 사각형어초를 시설하고 있다. 동 지역은 수심이 상대적으로 깊어 대부분 어류용 어초(95.8%)가 시설되고 있으며, 패·조류용 어초는 4.2%에 불과하다.

표 4. 통영해역 바다목장화조성지(20 km²)에 시설된 어초 종류 및 수량('78~'01)

Table 4. The type and scale of reefs installed at marine ranching area (20 km²) in Tongyeong ('78~'01)

위치	시설년도	어초종류	시설면적 (ha)	어초수량 (척, 개)
통영 산양 곤리도	'78	사각형	36	900
통영 산양 연대도	'79	"	80	1,290
통영 산양 곤리도	'87	"	208	1,300
통영 산양 연곡	'93	반구형	20	330
"	"	"	20	330
통영 산양 저림	'94	"	16	264
"	'95	"	11	182
통영 산양 연화	"	"	10	165
통영 산양 달아	'96	"	14	231
통영 산양 학림	"	"	16	264
통영 산양 삼덕	'97	사각형+반구형	16	182
통영 산양 마동	"	"	16	182
통영 산양 오곡도	'98	사각형	16	100
통영 산양 대장두도	"	"	32	200
통영 산양 오곡도	"	사각형+반구형	13	148
통영 산양 저림도	"	"	16	182
통영 산양 삼덕 당포	'00	"	8	91
통영 산양 저림 지도	"	"	4	46
통영 산양 미남 달아	"	"	7	80
통영 산양 곤리	"	"	8	91
통영 산양 저림 송도	"	"	14	153
통영 산양 미남 마동	"	"	14	160
통영 산양 연곡 오곡	"	"	6	69
통영 산양 연화 중화	'01	강재형	45	2
총계	'82~'01	3종	646	6,942

표 5. 통영해역 바다목장 주변(89 km²)에 시설된 어초 종류 및 수량('79~'01)
 Table 5. The type and scale of reefs installed around the marine ranching area
 (89 km²) in Tongyeong ('79~'01)

위치	시설년도	어초종류	시설면적 (ha)	어초수량 (척, 개)
통영 산양 곤리도	'79	사각형	20	500
통영 산양 추도	'81	페타이어	31	780
"	'82	고선	101	9
"	'83	"	36	9
"	'84	"	32	7
"	'85	"	68	28
통영 산양 연대도	'92	사각형	350	2,200
통영 산양 연곡	'94	"	133	800
통영 산양 추도	'96	반구형	16	264
통영 산양 연대	'97	사각형+반구형	16	182
통영 산양 내부지도	"	"	16	182
통영 산양 곤리도	'98	"	11	125
통영 산양 추도	'99	"	14.5	165
통영 산양 추도	'00	"	17	193
통영 산양 연곡 (외부지도)	"	"	10	114
통영 산양 연곡	"	사각형	80	500
통영 산양 추도	"	강제 침선	64	4
통영 산양 연곡 연대	'01	사각형	80	500
총계	'79~'01	5종	1,095.5	6,562

통영해역 바다 목장 주변에 시설된 어초를 지역별로 보면 그림 3-3-15와 같으며, 이들 자료는 경상남도에서 인공어초시설사업으로 조성한 곳을 해도상에 나타낸 것이다. Fig. 16에서 알 수 있는 마와 같이 어초는 죽도, 비진도, 매물도 사이의 수역에 대부분 시설되어 있으며, 죽도와 육지도, 비진도와 연화도 사이 수역은 거의 어초가 시설되어 있지 않

고 있다. 한편, 바다 목장지역 내에 시설된 어초의 경우, 만지도와 곤리도 사이에 주로 시설되어 있다.

그리고 그림 3-3-16은 통영 바다목장 주변해역에서 낚시어업을 전업으로 하고있는 어업인들이 어장으로 이용하고 있는 GPS상의 위치좌표를 조사하여 해도에 표시한 것이다. 통영해역 바다목장지역에 시설된 어초시설의 경우, 상자형어초는 어초단체로 평면시설되어있고, 어초단체간 거리는 20 m 정도를 유지하고 있으며(그림 17), 강제어선어초는 4척

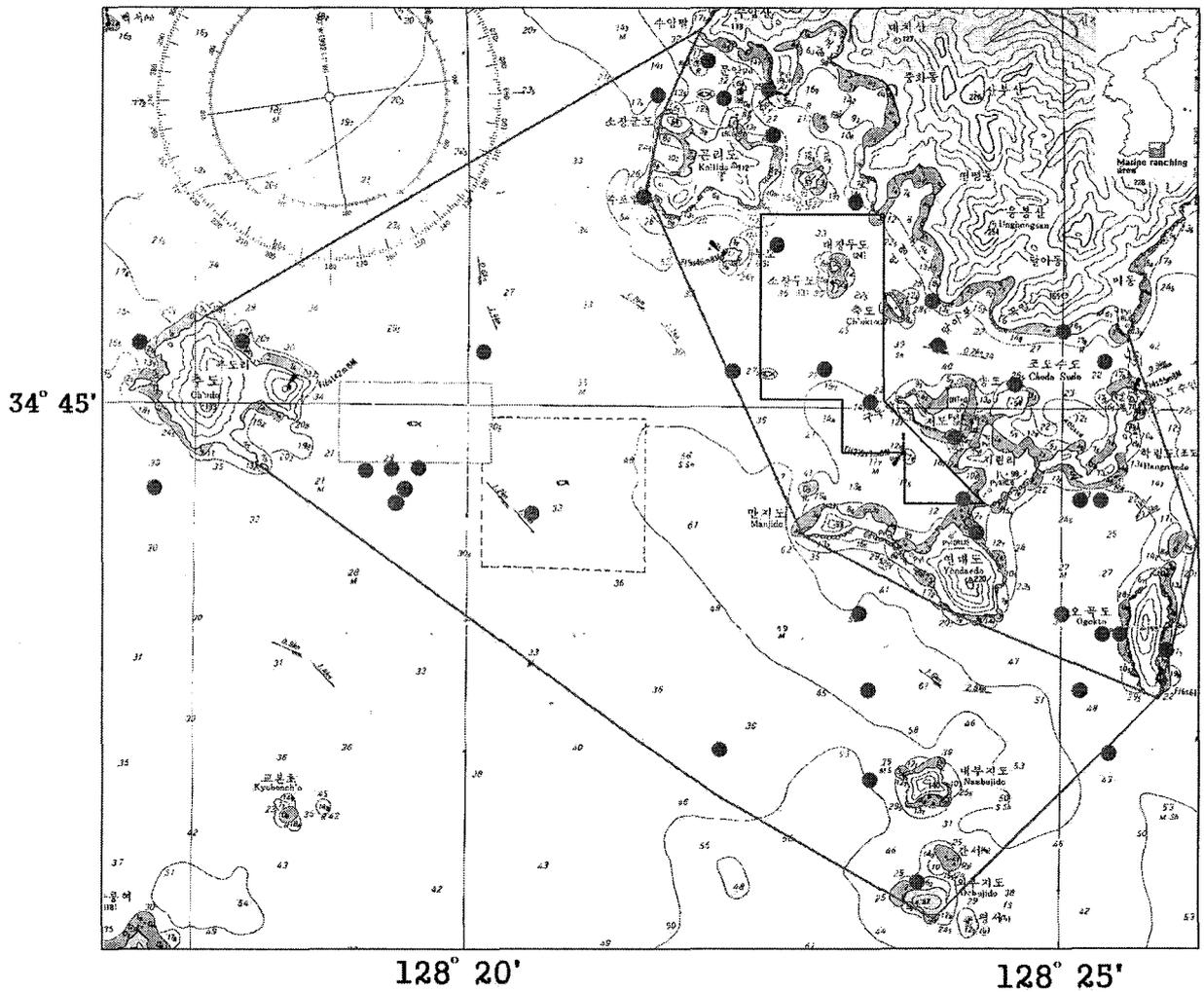


그림 15. 통영해역 바다목장 주변에 시설된 어초의 위치.

Fig. 15. Location of artificial reefs installed around the marine ranching area in Tongyeong ('78~'01).

(약 80톤급)이 140 m 정도 거리를 유지하고 있다(그림 18). 사각형어초는 3개소 이상에서 발견되었는데 많은 량의 사각형어초가 집중적으로 시설되어 있었고 또한 단위어초의 형태는 3~4층으로 상적된 것을 확인할 수 있었다(그림 19). 바다목장지역의 어초시설은 상자형어초와 강제어선어초는 해저에 평면상으로 개별 시설되어 있는 반면에 사각형어초는 한 장소에 집중적으로 상적하여 종모양을 하고 있었으며, 단위어초군의 어장 기능은 계속되고 있는 것으로 확인되었다.

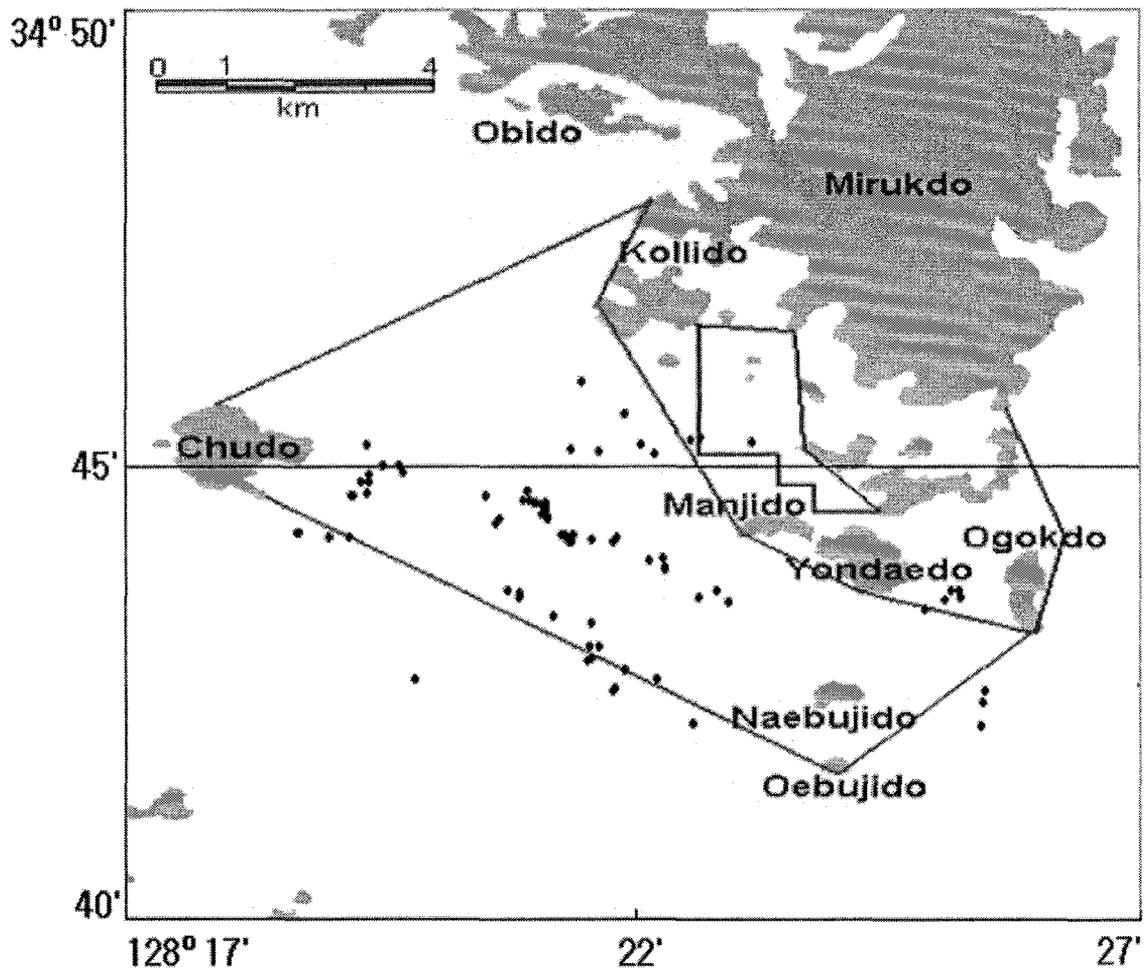


그림 16. 어업인들의 GPS 상에 나타난 통영해역 바다목장화 조성지주변의 어초 위치.

Fig. 16. Location of artificial reefs installed at and around Tongyeong marine ranching area recorded on GPS of fishermen('78~'01).

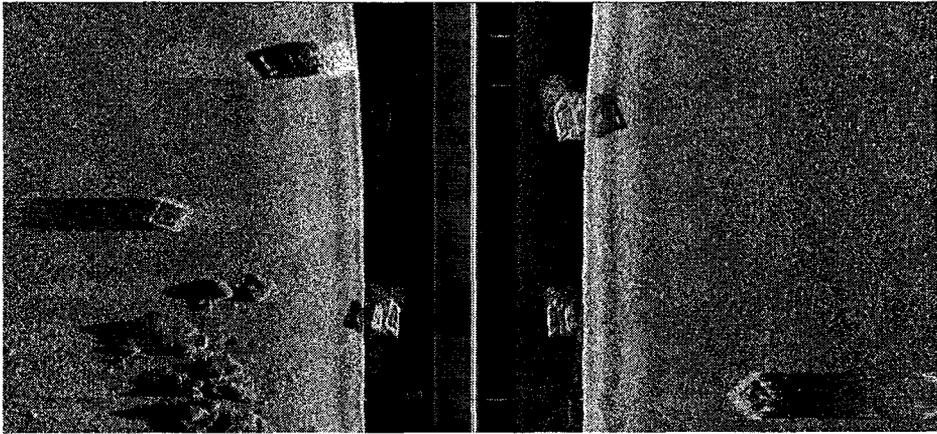
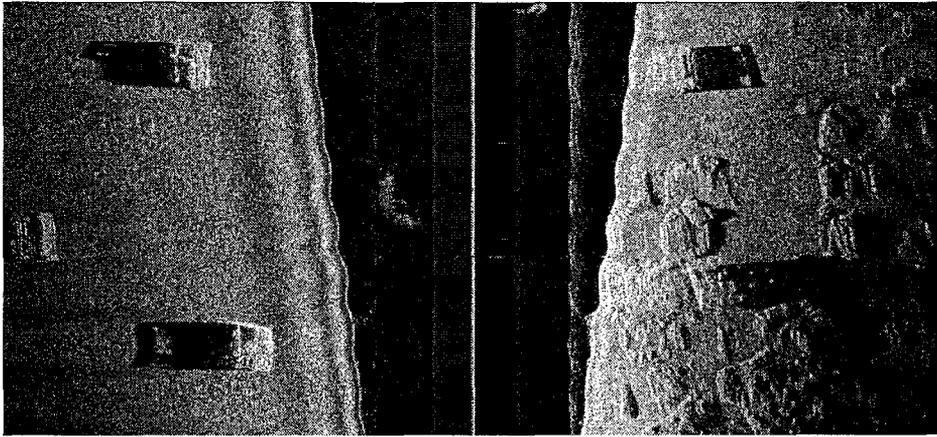
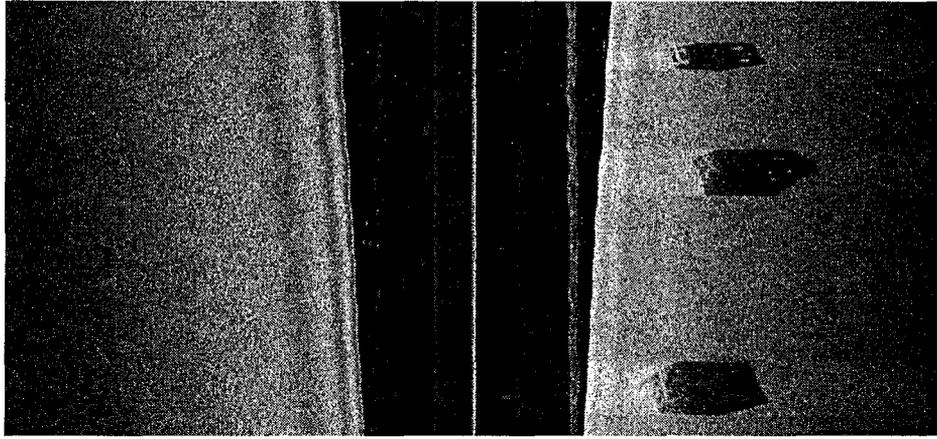


그림 17. Side Scan Sonar에 의한 어초 형상(상자형어초).

Fig. 17. Box reef illustrated by Side Scan Sona. Box reef is 3×3×3 m in volume.

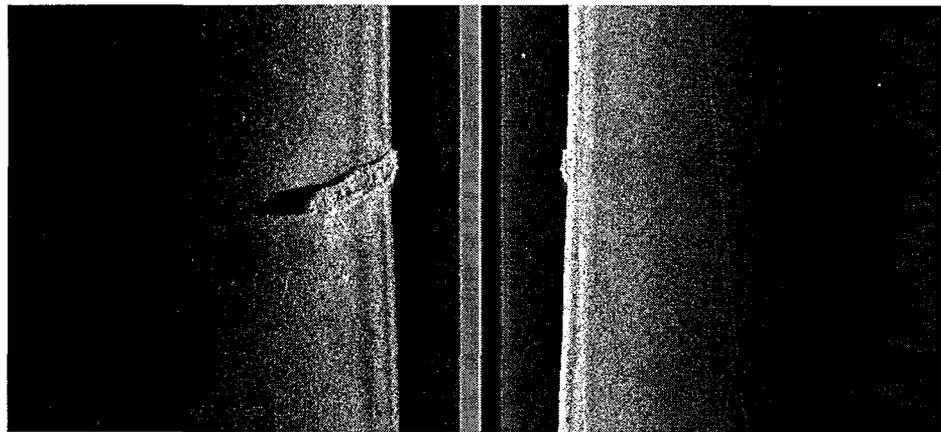
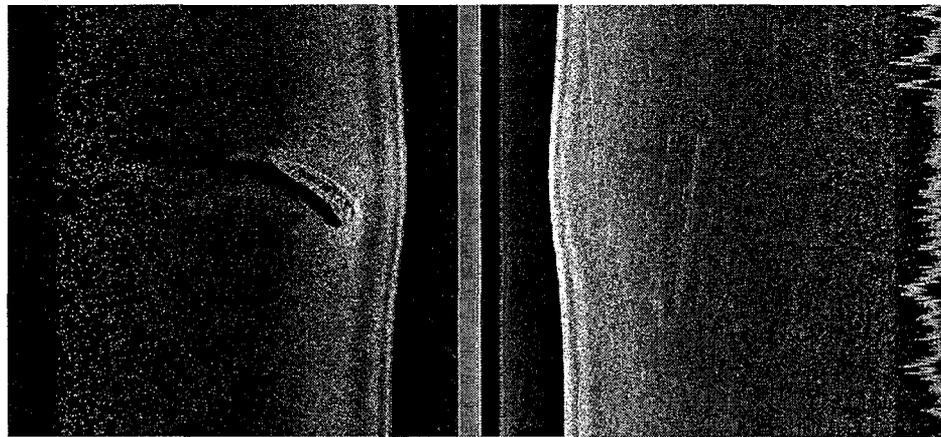
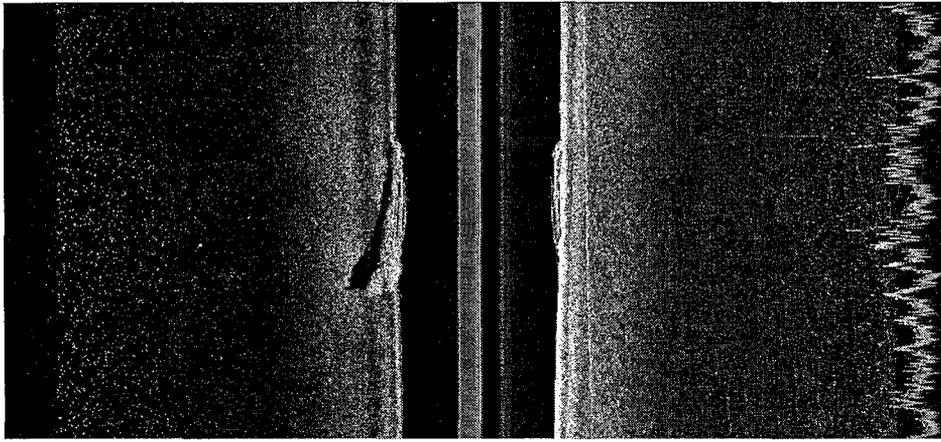


그림 18. Side Scan Sonar에 의한 어초 형상(강제어선어초).

Fig. 18. A olden fishing boat reef illustrated by Side Scan Sonar.

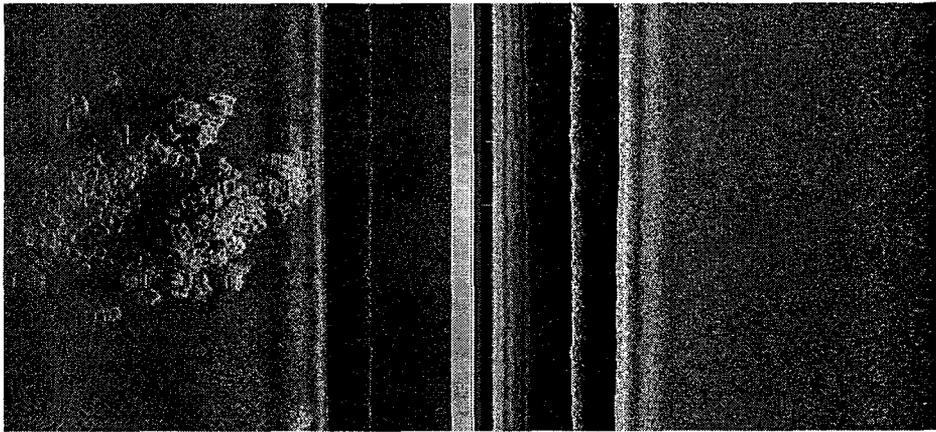
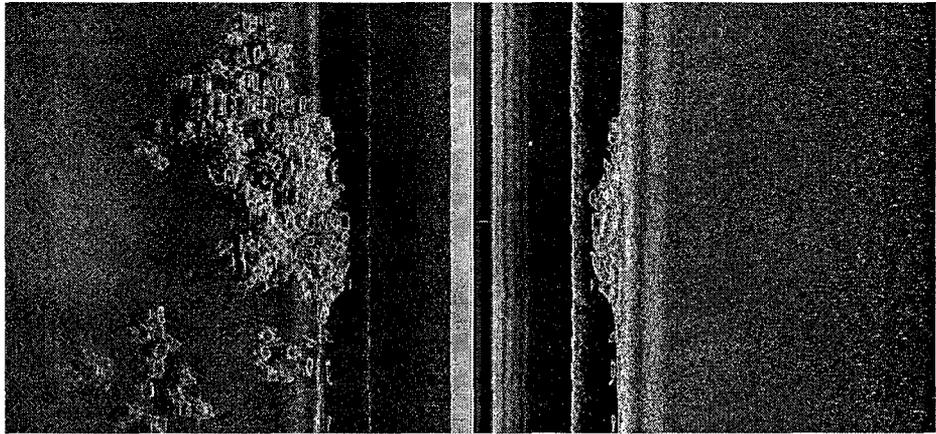
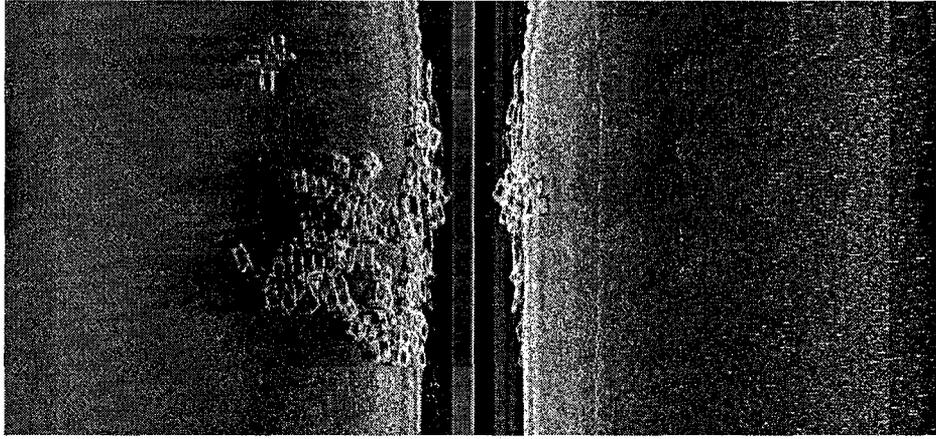


그림 19. Side Scan Sonar에 의한 어초 형상(사각형어초군).

Fig. 19. Dice Reefs illustrated by Side Scan Sonar. A Dice reef is $2 \times 2 \times 2$ m in volume.

2. 바다 목장화 조성지에 시설된 상자형어초의 어획 생산성 조사

가. 상자형어초의 특성 및 배치 형태

상자형어초의 어획 생산성 조사는 시설 후 상자형어초가 설계된 대로 기능을 발휘하느냐에 초점을 두어 조사했다. 상자형어초에 도입된 설계요인은 습성이 상이한 2종류의 어류를 동일 어초에서 서식할 수 있도록 한 것이다. 즉, 어종에 따라서는 서식 수층이 상이한 것에 착안하여, 동일 어초의 구조 형태를 2원화시켜 높이가 2 m 이하인 부분은 주축성이 강하고 음영을 좋아하는 조피볼락 등과 같은 어류의 서식에 적합한 면구조를 선호하는 서식 특성을 설계인자로 채택하였다. 그리고 2 m 이상은 시각 및 청각 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔 및 농어 등의 어류 서식에 적합한 테구조로 설계하여 만들었다(그림 20). 이와 함께 어초가 비교적 큰 27 m²인 점을 감안하여 기존 어초 시설 형태와 다른 1단(평면) 배치 형태로 시설하여 효과를 분석하였다. 상자형어초의 어업생산성분석에 필요한 어초의 특징, 어초 배치형태 등을 간략히 설명하면 다음과 같다.

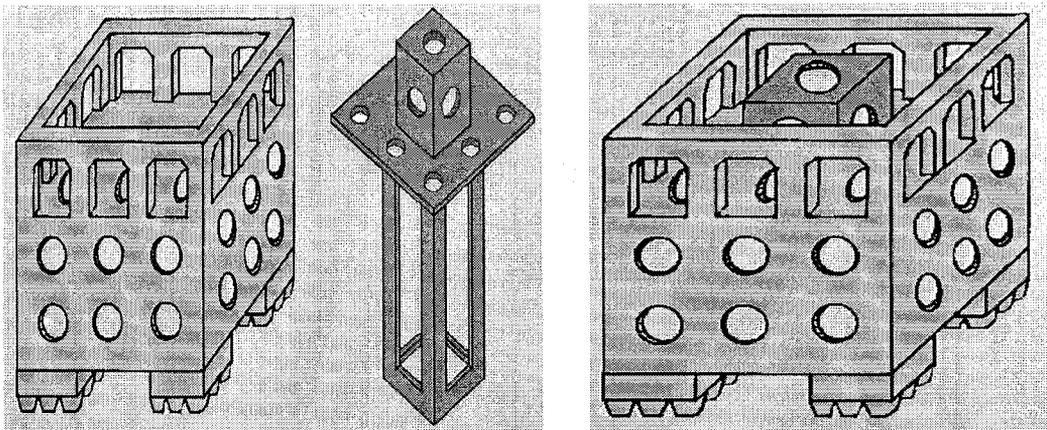


그림 20. 상자형어초 (3×3×3 m). 상자형어초는 내부와 바깥상자로 구성.

Fig. 20. Structure of Box reef (3×3×3 m). It is composed of the outer box and the inner one. The left indicates detail drawing of the inner box.

(1) 상자형어초의 특징

본 연구에서 개발된 조피볼락용 상자형어초(3×3×3 m)는 지금까지 개발된 인공어초와 달리 특정 어종(조피볼락, 참돔)의 생태 및 저질 등 서식환경을 고려하여 고안된 것이며, 내부 구조는 은신처가 많이 확보될 수 있도록 부재 간격을 좁게 설계하여 방류된 조피볼락 치어가 포식어에게 식해되지 않도록 하였다. 그리고 외부 구조는 어초 바깥면을 면구조로 하

여 풍부한 음영을 갖도록 함으로써 미성어, 성어 등의 서식 및 산란에 적합하도록 하였다.

또한, 어종에 따라서는 서식 수층이 상이한 것에 착안하여, 동일 어초의 구조 형태를 2원 화시켜 높이가 2 m 이하인 부분은 주축성이 강하고 음영을 좋아하는 조피볼락 등과 같은 어류의 서식에 적합한 면구조를 선호하는 서식 특성을 설계인자로 채택하였고, 2 m 이상은 시각 및 청각 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔 및 농어 등의 어류 서식에 적합한 테구조로 설계하여 만들었다(Kim, 2001).

특히, 우리나라 연안해역의 저질은 대부분 니질 함량이 많아 기존 어초의 경우, 구조적으로 침하방지대책이 미흡하여 어초 시설시 어초 자중에 의해 침하가 심한 실정을 감안하여 본 개발어초에서는 어초 시설 후 침하를 방지하기 위해 어초 저면에 팽이파일의 부착을 고안하여 어초 자중에 의한 침하를 극소화했다.

(2) 상자형어초 배치형태

통영해역 바다 목장화를 위한 어초어장의 조성 규모를 결정함에 있어 대상어종, 수심, 이용어법 등을 고려하였다. 대상 어종은 조피볼락 이외에 통영해역에 출현하는 어종 중 비교적 고급 어종인 참돔, 그리고 최근 자원이 급격히 감소하고 있는 볼락으로 하였다.

대상으로 하는 어종 중 조피볼락과 볼락은 접촉과 시각자극에 강하게 반응하는 어류로 내부 구조가 복잡하고 전체 면적이 큰 구조, 그리고 참돔은 시각 및 음파자극에 강하게 반응하며 외부 용적이 큰 구조에 각각 많이 위집한다. 어장을 조성함에 있어 이런 습성을 기초로 하여 용적을 크게 하는 테구조와 접촉면이 넓은 면구조가 복합된 어초구조 개념을 도입하였다. 어초 높이는 시설지의 수심이 대부분 20~30 m 정도인 점을 감안하여 3 m로 하였다. 조피볼락, 볼락, 참돔, 감성돔 등을 대상 어종으로 하는 낚시어업(외줄 낚시, 주낚)을 전업으로 하는 어업인들이 많은 점을 감안하여 어초 단체간의 거리를 약 20 m로 하여 단위어초의 범위를 되도록 넓게 하였다(국립수산진흥원, 2000a). 이와 같이 어초의 높이와 어초 단체간의 거리를 결정하였고, 적정 배치형태에 있어서는 동 해역은 곤리도와 부도를 잇는 해저능선이 곳을 감안하여 능선을 따라 1열(5개)을 시설하였고 능선과 평행하게 3열을 추가시설하여 능선을 넘어 이동하는 어류와의 조우도가 향상되도록 평면 배치하였다(국립수산진흥원, 2000b).

(3) 상자형어초 시설 상태 및 규모

상자형어초는 2000년 11월 28일에 시설하였으며, 현장조사는 시설 후 9개월이 경과한 2001년 8월 28일, 11월 22일에 각각 실시하였다. 상자형어초 조성지의 저질은 니사질, 패각질로 어초의 침하는 2000년 11월 28일 조사시 측정된 5~10 cm와 차이가 없었다. 모든 어초는 정상적으로 시설되어 있었으며, 시설지는 북서-남동방향으로 약간의 경사를 이루고 있으나 어초 저면에 부착된 팽이파일이 해저 퇴적층에 관입되므로써 어초의 안정성을

증대하였으며, 경사도를 완화시키는 기능이 관찰되었다.

금회 시설한 상자형어초는 수심 20~30 m의 곳에 20개, 15m의 곳에 5개를 각각 시설하였다(그림 21, 22). 상자형어초는 수심이 비교적 얇은 지역에 시설하였던 것은 조피볼락의 치어 등의 보육장으로서의 기능을 확인하기 위한 것이다.

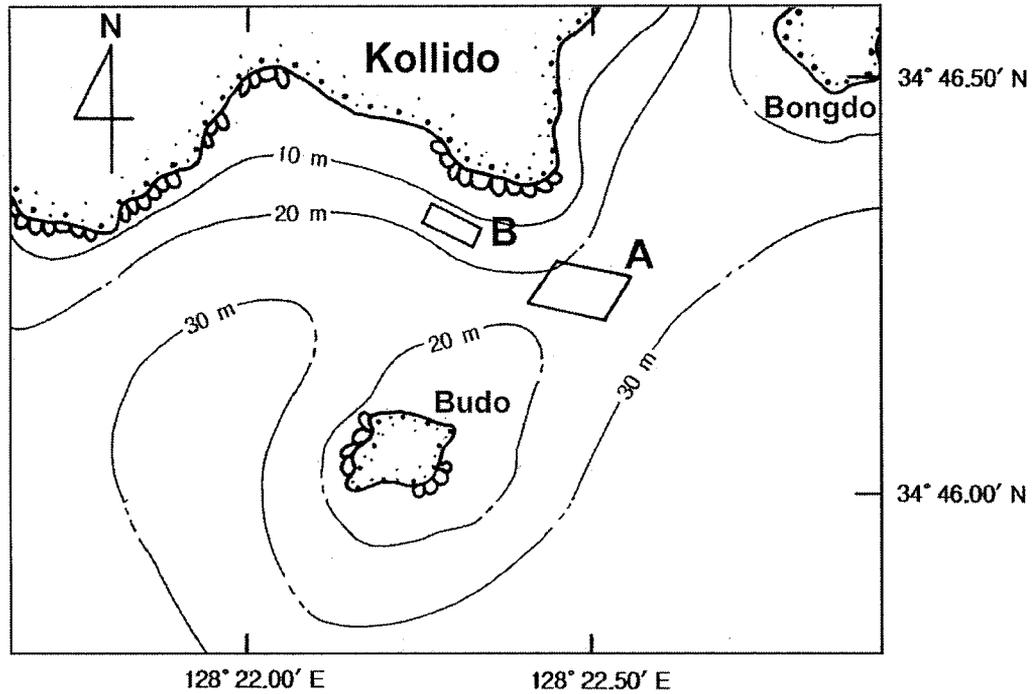


그림 21. 통영해역 바다 목장 구역의 수심.

Fig. 21. Water depth in marine ranching area.

나. 상자형어초의 어업 생산성

(1) 어획어종의 어초성 비교

삼중자망에 의한 어획조사 결과 어초 시설지에서 어획된 어종은 조피볼락, 넙치, 능성어, 참돔, 망상어, 말쥐치, 물가자미, 도다리 등 20종이 어획되었다. 이 중 상자형어초 시설지에서 어획된 어종은 조피볼락, 넙치, 능성어, 참돔, 말쥐치, 물가자미 등 16종, 자연초에서는 망상어, 말쥐치, 양태 등 12종이었다.

본 조사에서 어획된 어종에 대해 어초성을 분류해 보면(국립수산진흥원, 1989), 어획된 20종 중 주축성이 강하고 음영을 좋아하는 I형 어류는 조피볼락, 능성어, 넙치 등 4

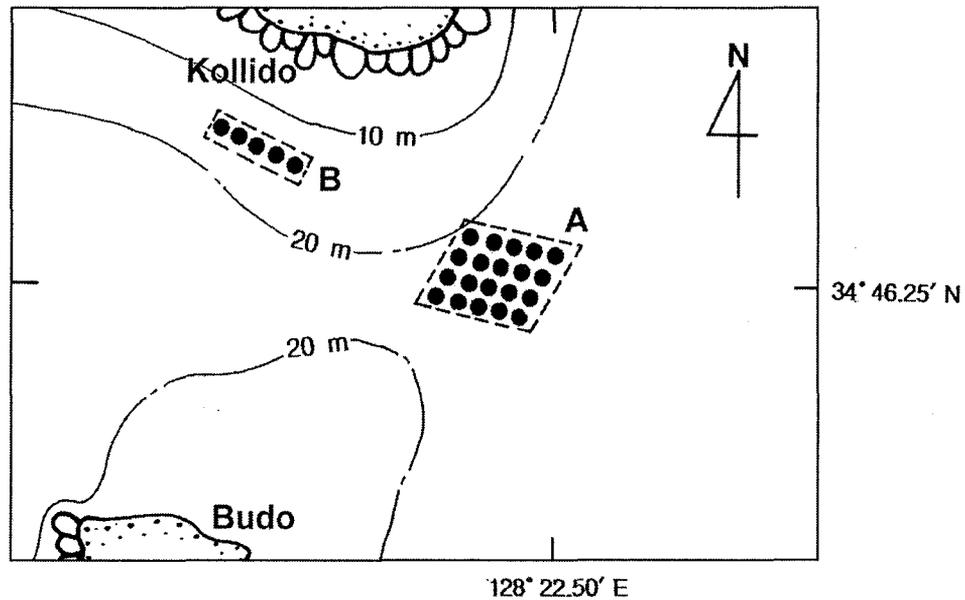


그림 22. 통영해역 바다 목장 수역에 시설된 상자형어초의 배치형태.

Fig. 22. Deployment of Box reef in Tongyong marine ranching area. Black circles in the figure indicate Box reef units.

종이었고, 시각 및 청각 자극에 강하게 반응하는 II형 어류는 참돔, 말쥐치, 망상어 등 7종, 그리고 어초성이 불확실하거나 확인되지 않는 종도 9종이나 되었다(표 6). 어초성을 갖는 어류의 경우, I형 어류 4종(25.0%)은 상자형어초에서만 어획되었으며, II형 어류의 경우 상자형어초(31.3%)와 자연초에서 각각 5종이 어획되었다(그림 23). 어획어종의 경우 참돔은 자연초보다 상자형어초에서 어획중량으로 약 6배 더 많았으며, 참돔 이외의 어종에 있어서도 상자형어초 시설지가 16종으로 자연초의 12종에 비해 많았다. 앞서 언급한 바와 같이 상자형어초는 서식어종에 따라 서식수층이 상이한 것에 착안하여, 동일 어초의 구조 형태를 2원화 시켜 높이가 2 m 이하인 부분은 주축성이 강하고 음영을 좋아하는 조피블락(I형 어류) 등과 같은 어류의 서식에 적합한 면구조, 2 m 이상의 부분은 시각 및 청각 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔 및 농어 등의 어류(II형 어류) 서식에 적합한 테구조로 설계하여 만들었다. 시설후 9~11개월이 경과한 이번 조사의 잠수관찰에서 2 m 이상의 어초 높이에서는 참돔의 위집은 관찰되지 않았으나, 2 m 이하에서는 일정 범위 내에서 일정하게 유영하고 있는 참돔 무리를 관찰할 수 있었고, 어획시험에서도 참돔이 어획되었다. 한편 능성어와 조피블락의 경우 어초 저면 주위나 어초내부에 위집해 있는 것이 관찰되었고 또한 어획시험에서도 조피블락과 능성어가 어획되어 상자형어초의 초기 설계 목적과 부합되는 기능을 발휘하고 있는 것이 확인되었다.

표 6. 상자형어초 시설지와 자연초에서 삼중자망에 의한 어획량과 어획 어류의 어초성 분류(2001)

Table 6. Classification of reefness of fishes caught from trammel net in box reef and natural reef

어류의 어초에 대한 반응형태	어 종	폭당 어획량 (g/폭)	
		상자형어초 시설지	자연초
I	조피볼락 <i>Sebastes schlegeli</i>	612.5	
	넙치 <i>Paralichthys olivaceus</i>	80.0	
	능성어 <i>Epinephelus septemfasciatus</i>	187.5	
	쥐노래미 <i>Hexagrammos otakii</i>	131.3	
II	쥐치 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	35.6	
	돌돔 <i>Oplagnathus fasciatus</i>	31.3	
	참돔 <i>Pagrus major</i>	427.4	68.9
	말쥐치 <i>Thamnaconus fasciatus</i>	46.3	31.3
	쌍동가리 <i>Parapercis sexfasciatus</i>	30.0	63.8
	달고기 <i>Zeus fabe</i>		11.3
	망상어 <i>Ditrema temmincki</i>		66.7
	물매기 <i>Liparis tessellatus</i>	193.8	
Others	애꼬치 <i>Sphyræna japonica</i>	3.8	
	홍어 <i>Raja porosa</i>	165.0	116.3
	보리멸 <i>Sillago sihama</i>	6.3	6.3
	노랑각시서대 <i>Cebrias fasciatus</i>	7.5	3.8
	물가자미 <i>Eopsetta griogrjewi</i>	178.8	103.8
	도다리 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	1,208.9	216.3
	개서대 <i>Cynoglossus robustus</i>		37.5
	양태 <i>Platycephalus indicus</i>		97.5
	합 계	3,346.0	823.5

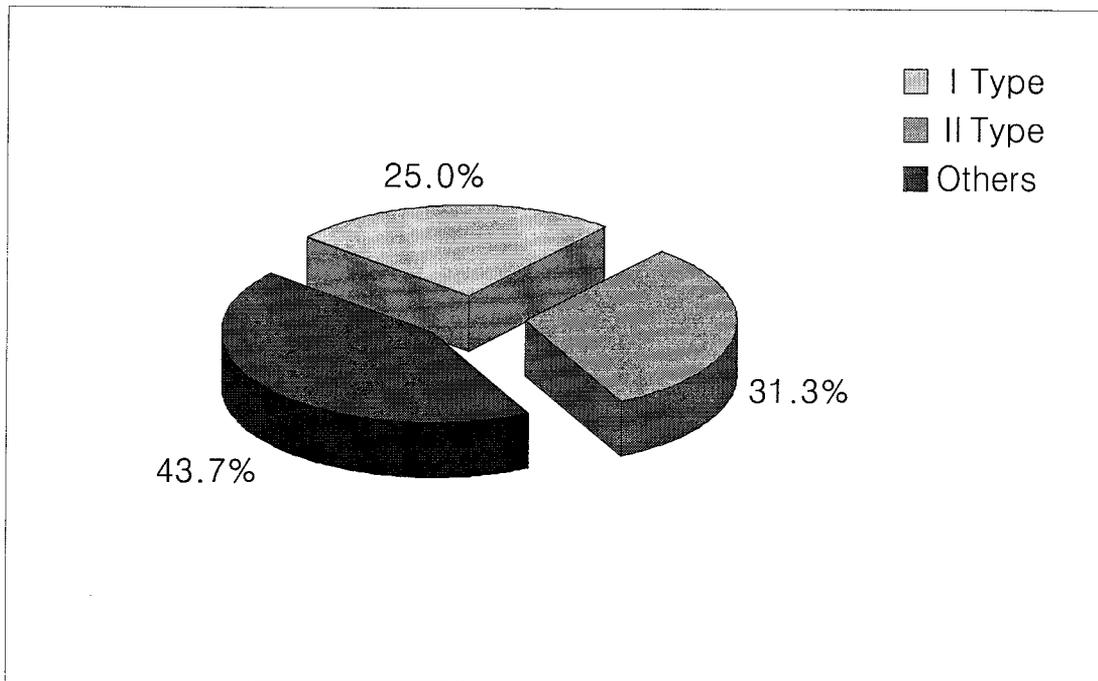


그림 23. 상자형어초에서 삼중자망에 의해 어획된 어종의 어초성 조성.

Fig. 23. Ratio of reefness fishes caught from trammel net in box reef and natural reef.

(2) 상자형어초시설지와 자연초수역에서 삼중자망에 의한 어획량 비교

상자형어초시설지와 자연초수역에서 삼중자망으로 어획한 어획량을 보면, 상자형어초의 경우 어획 어종은 16종, 어획량은 폭당 3.4 kg, 자연초에서는 12종, 폭당 어획량은 0.8 kg이었다(그림 3-3-24). 상자형어초시설지와 자연초수역에서의 어획효과를 비교하면 어종수에 있어서는 큰 차이가 없었으나, 어획 중량에 있어서는 상자형어초시설지에서 4.1배 정도 높게 나타났다. 이것은 상자형어초가 어초로서의 기능이 양호하게 발휘하고 있음을 나타내고 있다. 특히 조피볼락, 능성어, 넙치, 참돔 등의 어종이 상자형어초에서만 어획된 것은 상자형어초의 구조가 이들 어종을 위집시키는데 적합함을 의미한다고 할 수 있다.

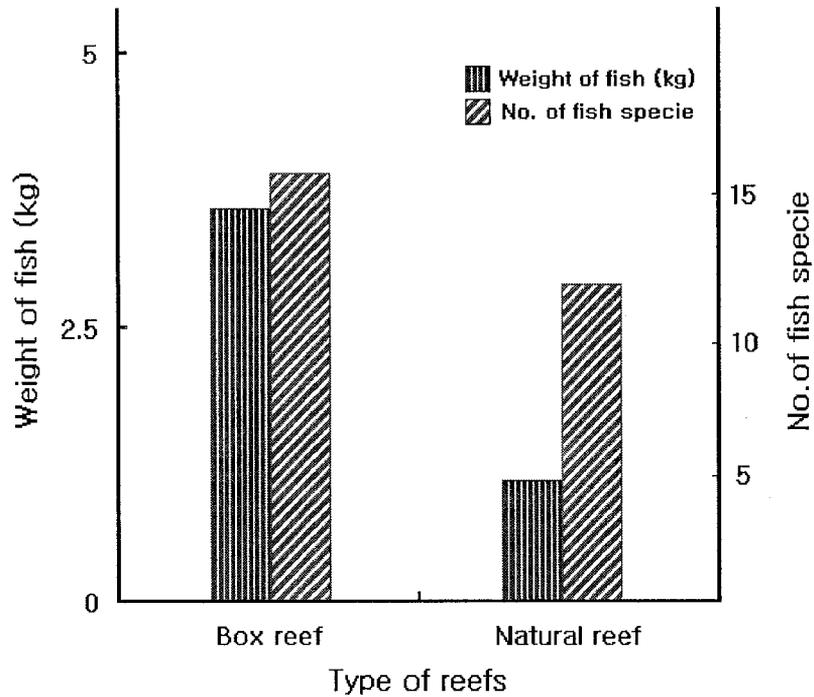


그림 24. 상자형어초와 자연초에서의 삼중자망에 의한 어획효과.

Fig. 24. Comparison of fish biomass between Box reef and natural reef.

3. 인공어초에 의한 통영해역 바다목장 적정어장 조성규모

통영해역 바다목장내(20 km²)에서 필요로 하는 어초어장 조성규모는 어초어장의 단위 노력당어획량(CPUE : Catch Per Unit Effort)에서 어초가 시설되지 않는 일반어장의 CPUE를 뺀 값을 이용하여 구하였다. 조성규모의 산출에 있어 현재 시설된 어초어장에서 증산량을 구하고 이 값을 이용하여 어장조성 규모를 산출하였다.

한 예로서 통영해역 바다목장에 시설된 상자형어초 단위어초의 어획시험결과를 토대로 통영해역 바다목장의 적정 어초어장 조성규모를 추정해 보았다.

<조건 및 가정>

상자형어초의 어초단체갯수 : 20개 (540 m³)

사용어구량 : 삼중자망 3폭 (폭 : 70×2 m)

조업척수 : 2척

조업일수 : 150일

단위폭당어획량(상자형어초시설지CPUE - 자연초수역CPUE) : 2.6 kg

연간증산량 : 2.6 kg×3폭×2척×150일 = 903 kg

단위어초당 기대증산량 : 903 kg × 800 m³ ÷ 540 m³ ≒ 1337 kg

따라서 통영해역 바다목장화 관련 예상 어가수를 100가구, 1어가당 연간 5톤 그리고 목장화해역 이용율을 50%라고 하면 목장화해역에서의 생산량은 250톤으로 추정된다. 따라서, 목장화해역에서 250톤을 증식하기 위한 예상 단위어초수는 다음과 같다.

$$\text{예상단위어초} = 250,000 \text{ (kg)} \div 1337 \text{ (kg/단지)} \approx 187\text{개단지}$$

$$\text{추가시설단지} = 187\text{개단지} - \text{기존시설단지량 (34단지)} = 153\text{단지 (122,400 m}^2\text{)}$$

현재 통영해역 바다목장지역내에 시설된 어초어장(어류용어초) 539 ha를 제외하면 실제 필요한 어초량은 약 2,448 ha가 된다.

여기서 제시된 필요 어초어장은 어디까지나 시험조업에 의해 얻어진 값을 이용하였기 때문에 다소 과대 혹은 과소평가의 우려가 있으며 또한 바다목장내에 시설된 어초라 할지라도 어초어장마다 어획량이 다르므로 정확한 어초어장 규모라고는 할 수 없다. 그리고 현재의 통영바다목장의 어초어장 규모는 목표로 하는 연간 어획량을 달성하기에는 부족함을 알 수 있다.

4. 어초에서 참돔의 행동 및 이동경로 추적

핑거를 장착시킨 참돔은 곤리도 주변 수심 25 m에 시설된 상자형어초시설지에 잠수부가 직접 수중에서 방류하여 추적을 행하였다(그림 25). 방류는 2001년 11월 24일 12시 35분에 실시하였다. 방류된 참돔은 상자형어초 시설지내에서 약 30분간 머무르다가 40분이 경과한 후에는 수심 20~30 m의 등심선을 따라 북동방향으로 300~400 m 이동한 후 방향을 남서방향으로 바꾸어 다시 상자형어초 시설지를 경유하여 곤리도 남쪽 연안으로 이동하였다. 이동시간은 총 3시간 5분이었고 이동거리는 약 2,460 m였다(그림 26). 이동 중에 정치망과 같은 장애물을 피하여 유명하였으며 약 3시간 후에는 수심 4 m 정도에서 이동하지 않고 2시간 동안 계속 같은 장소에 발신음이 추적되어 조사를 종료하였다. 핑거를 장착한 참돔을 이용하여 어초에서의 반응형태와 이동경로를 추적하는 과정에서 방류 후 수심이 얕은 곳으로 참돔이 이동하였던 것은 부레를 제거한 생리적 현상 때문이라고 판단되었다. 따라서 금후 시험에 사용될 공시어에 대한 채포방법이나 관리가 적절히 이루어져야 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다(恒星社厚生閣, 1990).

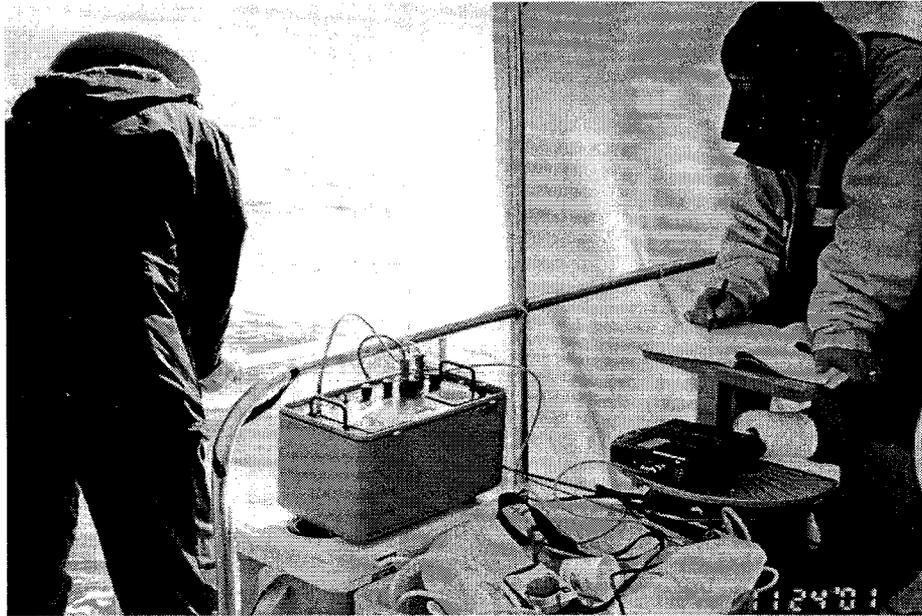


그림 25. Telemetry에 의한 참돔의 추적 광경.

Fig. 25. View of radio tracking of fish (*Pagrus majorr*) by telemetry.

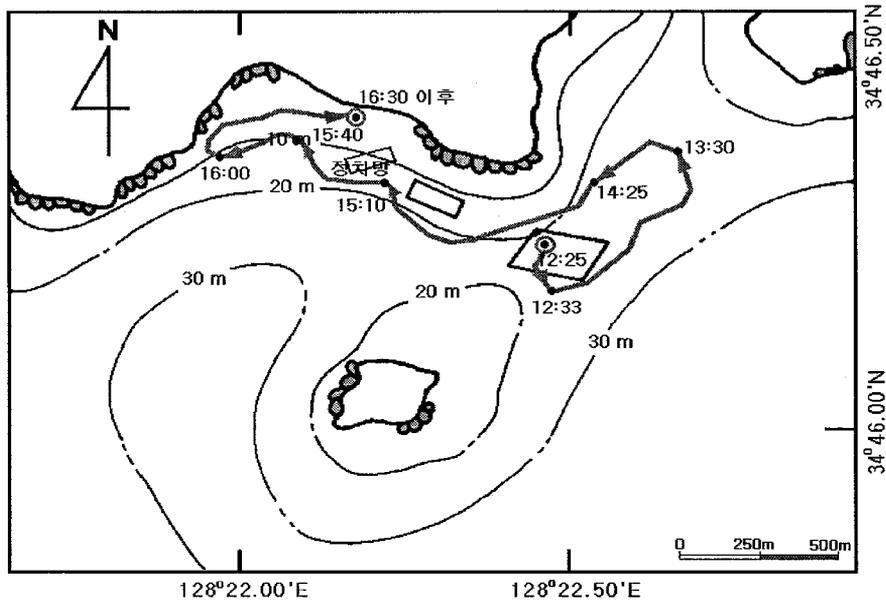


그림 26. Telemetry에 의한 참돔의 추적 경로.

Fig. 26. Radio tracking of porge (*Pagrus majorr*) by telemetry. Red line in the fig. indicates migration of porge.

5. 상자형어초의 저질조성별 내침하성 저면구조 개선

가. 실내실험

(1) 정하중 조건에서 인공어초의 침하·매물특성

실내에서 인공어초의 침하·매물특성을 조사하기 위해서는 실제해역의 지반조건을 재현하는 것이 필요하다. 여기서 지반조건은 안정된 압밀상태를 의미한 것으로, 압밀상태는 입자 크기의 함수라 할 수 있다. 실제 해역의 지반은 많은 종류의 입자로 구성되며, 또한 장년의 세월을 거쳐 형성되므로 실제 해역의 지반을 실내에서 재현하는 것은 어렵다. 이 때문에 대표입경을 사용하여 침하 등의 특성을 조사하고 있다. 본 연구에서도 실제 해역을 재현하기 어려워 대표입경 3종류(0.008, 0.010, 0.039 mm)를 사용하여 지반을 만들고 압밀상태가 안정화된 후 실험을 수행하였다. 그림 3-3-27에서 알 수 있는 바와 같이 일정 시간이 지난 후에는 저질층의 길이 변화가 거의 없으므로 지반이 안정화된 상태로 볼 수 있다.

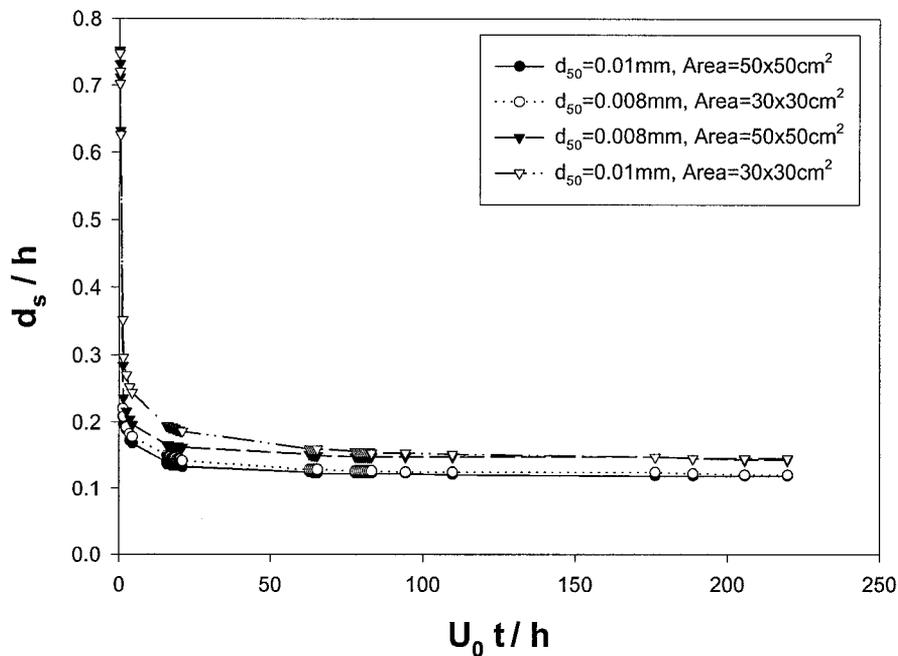


그림 27. 정하중 조건에서 실험에 사용된 저질의 압밀침하특성.

Fig. 27. Stabilization characteristics according to self-weight consolidation of the sediment under the static condition.

(가) 구조물의 형상변화에 따른 침하·매몰

구조물의 형상에 따른 침하·매몰특성은 구조물의 형상, 저질 입경의 크기에 따라 다르며, 동일한 형상을 갖는 구조물이라도 입경의 크기에 따라 달라질 수도 있다. 그러나, 본 연구에서는 실험에 사용된 대표 입경별 동일 압밀상태를 조성하기 어려워 실험시마다 안정화된 각기 다른 압밀상태의 저질상을 사용하였다. 그림 28은 모형체 3종(삼각기둥, 사각기둥, 원기둥)에 대한 대표입경 0.008, 0.010, 0.039 mm인 저질조건에서 발생한 침하량을 나타낸 것이다. 이 그림에서 가는 선은 저면의 한변이 7.1 cm인 동일한 면적과 중량을 갖는 삼각, 사각, 원형기둥모형을 나타내고, 굵은 회색 선은 저면의 한 변이 3.1cm인 사각을 기준으로 하여 동일한 면적과 중량을 갖는 삼각, 사각, 원형기둥모형이고, 한편 굵은 검정색 선은 동일한 접지면적과 중량을 가지나 실제 사각어초와 같이 내부가 비어있는 모형이다.

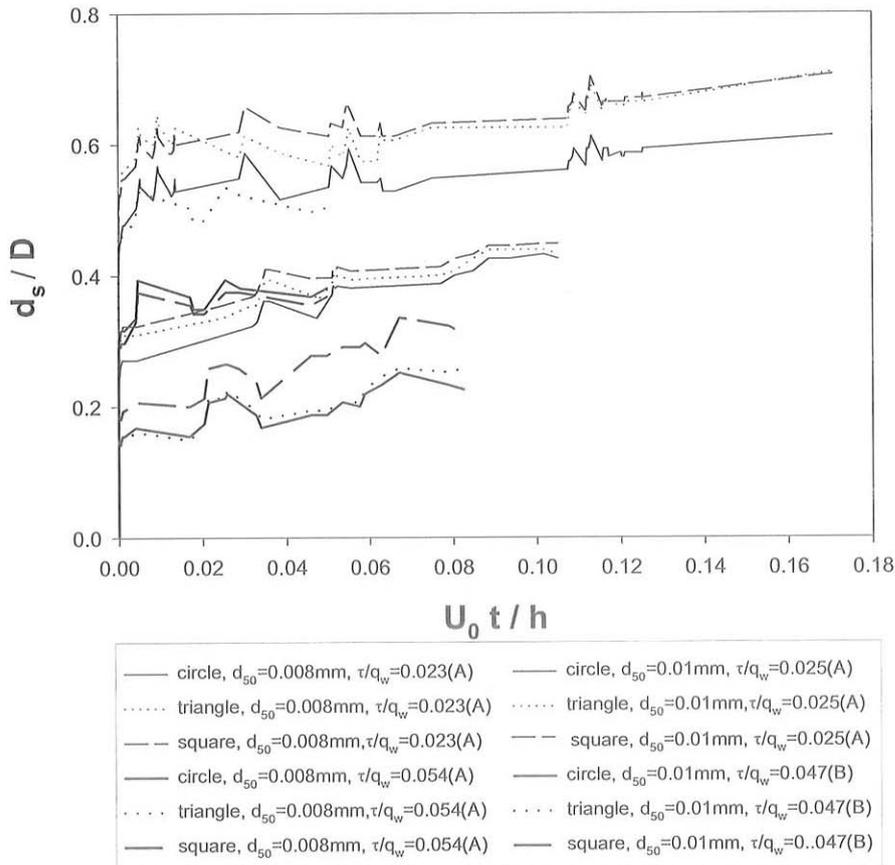


그림 28. 정하중 조건에서 모형블럭(삼각형, 사각형, 원형)의 침하량.

Fig. 28. Subsidence of three models (triangle, square, circle) under the static condition.

침하량은 시간 (t)에 따른 모형어초의 이론식으로 구한 전침하량(U_0)을 모형어초의 시설 깊이(h)로 무차원화하여 무차원 값에 따른 침하깊이(d_s)를 모형블럭의 높이(D)에 대한 무차원량 하여 나타내었다. 각 대표 입경별, 형상별 침하량은 원형이 가장 낮았으며 원형, 삼각형, 사각형 순서로 컸다(그림 28).

원형에서 침하량이 가장 작게 나타나는 것은 접지압이 작용하는 저면의 형태가 원으로서 경계면에서의 전단응력이 낮고, 그림 29에서 알 수 있는 바와 같이 동일 하중에 대한 저면적의 폭이 삼각이나 사각형에 비해 적기 때문이라고 할 수 있다. 이와 같은 결과는 사질이나 니사질을 이용한 연구결과와 동일한 경향을 나타냈으며, 이와 같은 결과는 니질이나 사질에서 형상별 연직 변위에 대한 영향계수의 영향이 같은 경향임을 보여준다. 형상별 침하량과 관련하여 저면 및 측면 저질의 배제현상을 보면 원형은 모형의 주위에서 일어나나 사각형은 원형에 비해 변주위로부터 보다 멀리 떨어진 곳까지 일어난다(그림 29). 이런 현상은 동일하중과 면적이라 할지라도 형상에 따른 저면의 폭의 차이 때문이라고 할 수 있다. 실험기간중에 침하현상과는 달리 모형체들이 반대로 미소하게 상승하는 경우가 있었는데, 이것은 하계에 실험실의 향온유지가 되지 않아 온도변화에 따른 침하량측정기의 연결선 신축에 의한 결과인 것으로 생각된다.

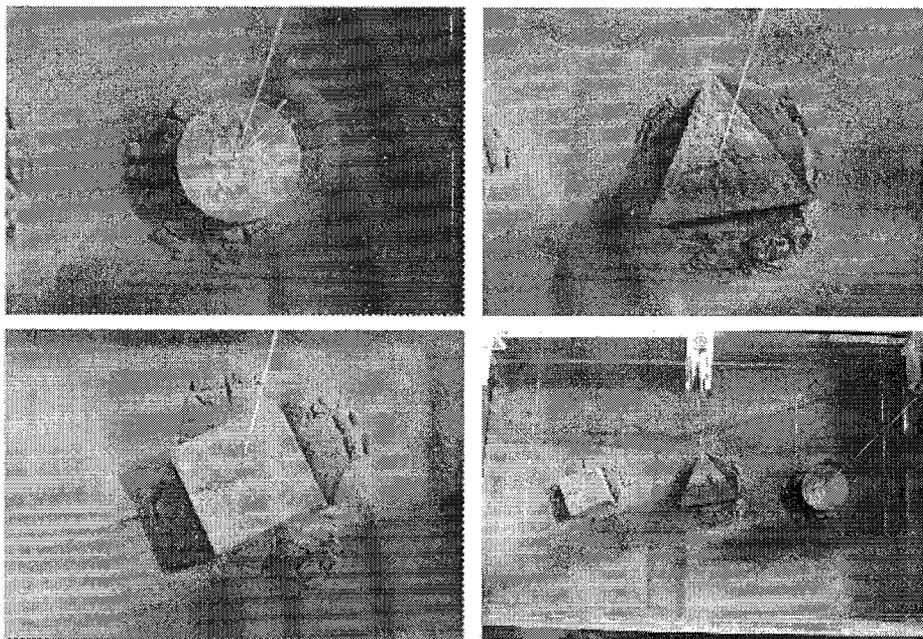


그림 29. 정하중 조건에서 모형블럭의 침하광경.

Fig. 29. View of subsidence of three models (triangle, square, circle) under the static condition.

(나) 구조물의 하중에 따른 침하·매몰

구조물은 하중이 증가할수록 침하가 크게 발생하게 되므로 인공어초의 설계에 있어 하중은 중요한 영향인자이다. 그림 30은 단위면적당 동일 하중에 대한 대표입경 0.008, 0.01, 0.039 mm의 전단응력(τ)별 사각형상에 대한 초기침하량(d_{inst})을 나타낸 것으로 독립 변수(τ)와 종속변수(d_{inst})는 각각 모형어초의 단위면적당 하중(q_w)과 대표길이 (D)로 무차원화하였다. 그림 31에서 나타낸 바와 같이 초기침하량은 하중의 증가와 함께 증가하였으나, 단위면적당 하중에 대한 전단응력값이 0.2 이상에서 침하량의 차이는 거의 없었다. 이와 같은 현상은 그림 31에서와 같이 동일 입경하에서 어초의 무게를 달리 하여도 동일한 경향을 나타냈다. 즉, 동일한 면적에 대해 어초중량이 임의 값 이상으로 되면 침하량도 일정하게 됨을 나타낸 것이다. 이것은 단위면적당 하중을 이용하여 한계침하량(하중이 어떤 값의 이상으로 주어져도 침하량의 변화가 없는 상태)을 구할 수 있는 것으로 인공어초 설계시 중요한 요소가 된다. 그리고, 그림 32에서 확인할 수 있는 것처럼 모형사각어초는 그 크기의 13%까지 초기침하가 발생하였고 그 이후에는 압밀이 진행됨에 따라 시간에 따른 침하량의 변화는 미소하여 모형사각어초가 안정화되었음을 알 수 있다.

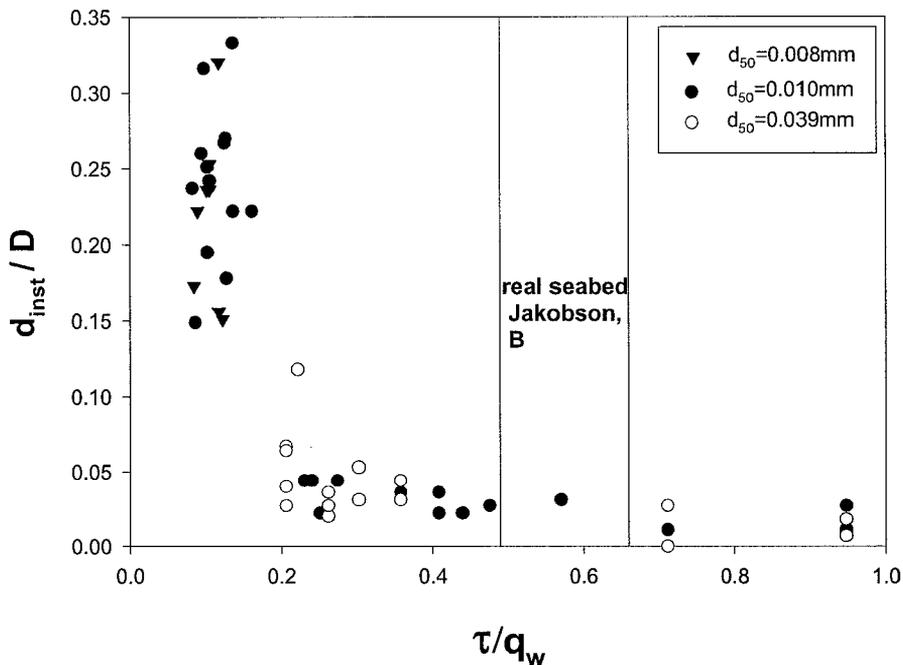


그림 30. 정하중 상태에서 저질 입자별 전단응력에 대한 모형사각어초의 침하량.

Fig. 30. Subsidence of model dice reefs according to shear strength by different grain size under the static condition.

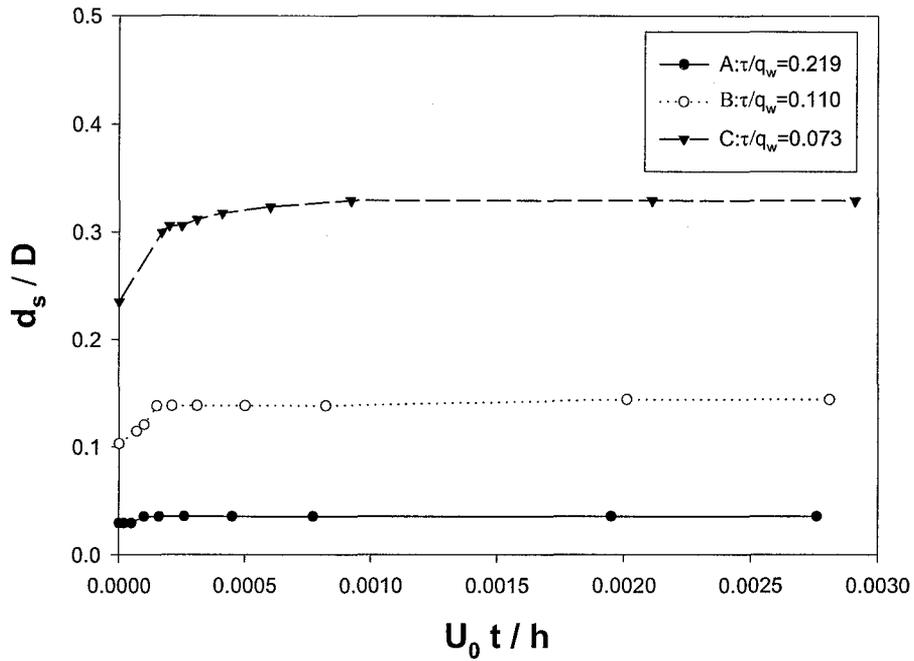


그림 31. 정하중 상태에서 모형사각어초의 자중 크기에 따른 침하량.
 Fig. 31. Subsidence by self weight of model dice reefs under the static condition ($l = 7$ cm).

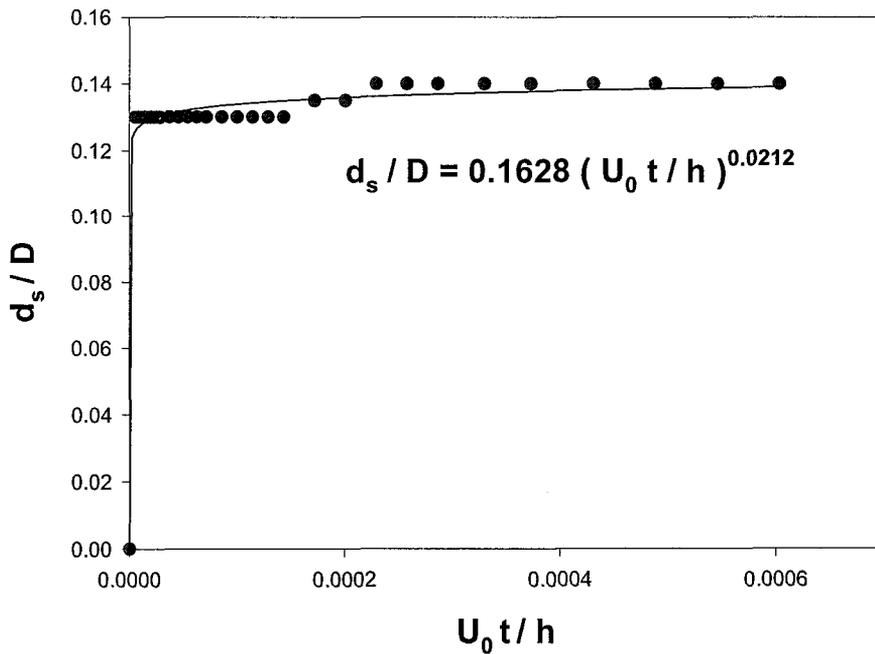


그림 32. 정하중 상태에서 모형사각어초의 침하량.
 Fig. 32. Subsidence of model dice reef under the static condition ($l = 7$ cm).

(2) 동하중 조건에서 침하·매물특성

본 연구결과에 의하면 정하중 조건에서는 실험에 사용된 모형의 형상별, 하중별로 주어진 저질 입도조건 하에서 침하량의 차이를 나타내었다. 인공어초는 다양한 해양환경에 설치되며 안정성에 영향을 미치는 주된 외력의 종류도 다양하게 된다. 해저지형, 수심 등에 따라 침하에 가장 큰 영향을 미치는 인자가 달라지게 되는 것이다. 이들 인자 중에서 동적인 외력으로 파랑, 흐름을 가장 큰 외력으로 생각할 수 있다. 즉 이를 지배적인 외력으로 간주하여 흐름장, 파동장, 흐름과 파랑의 공존장으로 나눌 수 있다. 흐름장에서는 흐름을 준 직 후 육안으로 구별하기 힘든 미소한 세굴이 발생하였으나 흐름이 안정화되었을 경우에는(흐름을 준 후 1분 이내) 육안으로 확인할 수 있는 세굴이 발생하지 않았으며 침하 또한 발생하지 않았다($V=0.24$ m/s). 그러나 흐름이나 파동, 그리고 흐름과 파동이 있는 공존장에서는 삼각, 사각, 원형 등 형상별로 차이가 있을 수 있으며 모형 사각어초의 침하량도 다른 경향이 나타날 수 있다. 어초의 매물 등 안정성에 관련해서는 흐름장의 경우 후류장의 변화지표인 Re수와 관련되어 정적 세굴을 나타내고, 파동장의 경우 KC수에 따른 동적 세굴 형태를 나타낸다. 그러나 모형의 형상에 대해서는 특히 공존장에서 있어서는 저질의 입경에 따라서 단지 하중만이 작용하는 정하중 조건과는 다른 현상이 나타났다.

(가) 파랑장에서 침하·매물 특성

그림 33은 파고(H)가 8.5 cm, 주기(T)가 1.3 s인 조건하에서 삼각, 사각, 원의 기둥 모형체에 대한 침하량을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 모형 블록의 크기는 삼각형의 경우 각 변이 3.69 cm, 사각형은 각 변 3.1 cm, 원은 지름 3.5 cm인 것을 사용하였다. 사용된 대표입경은 0.008 mm였다. 그림 3-3-33에서 알 수 있는 바와 같이, 침하량은 실험 초기에 있어서는 사각형에서 가장 높았고 그 다음 원형, 삼각형 순이었다. 그러나 시간이 지남에 따라 원형과 삼각형은 급격한 침하를 일으키게 되었으나, 사각형의 경우 일정시간이 지나도 침하량은 거의 변동이 없었다. 실험과정에서 모형 사각어초의 세굴이나 전도 등은 확인되지 않았고 파력에 의한 하중의 형태로 각 형상에 작용되어 일어난 것으로 여겨진다.

침하과정을 분석한 결과, 파동이 실험영역에 작용하게 되면 모형 사각어초는 지지하고 있는 기초지반의 움직임과 함께 움직이게 된다(그림 34). 아주 작은 전단강도를 가지고 있지만, 안정화된 기초지반은 파랑에 의해 강도를 서서히 잃게 되고, 모형의 움직임이 더욱 커지게 되면 결국에 지반은 자체의 전단강도를 거의 상실하여 더 이상 자체로서는 모형 사각어초를 지지할 능력을 갖지 못하게 되는 것이다. 결국 동적 침하량은 KC수에 비례하여 나타났으며 입경이 클수록 동적침하가 작게 발생하는 경향을 보였다(그림 35). 또한 파동장에서의 파랑조건에 따라 차이는 있지만 상대파고가 커짐에 따라 침하는

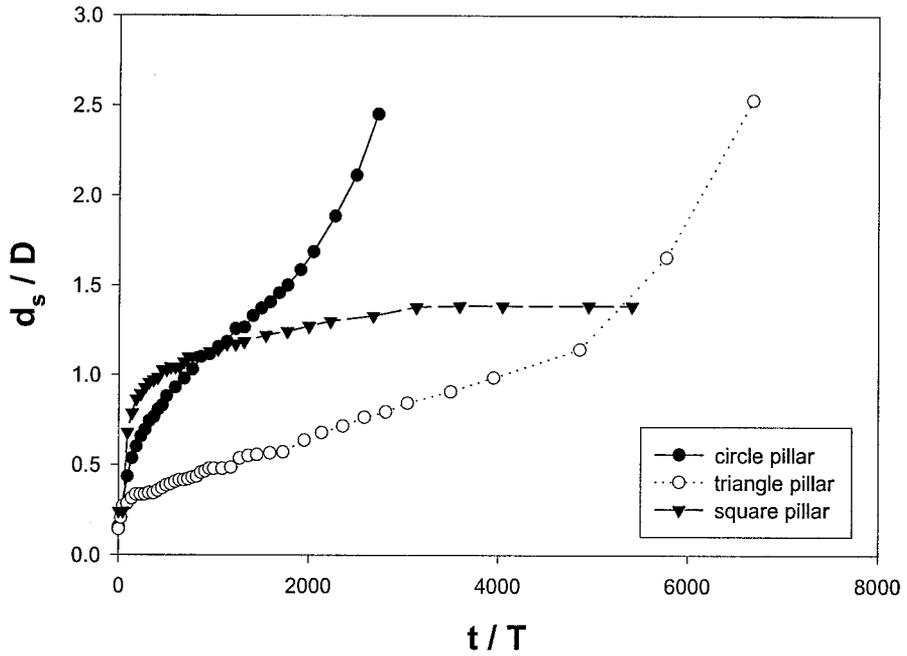


그림 33. 동하중 조건에서 모형블럭(삼각형, 사각형, 원형)의 침하량 비교.
 Fig. 33. Comparison of subsidence of three models (triangle, square, circle) under the dynamic condition.

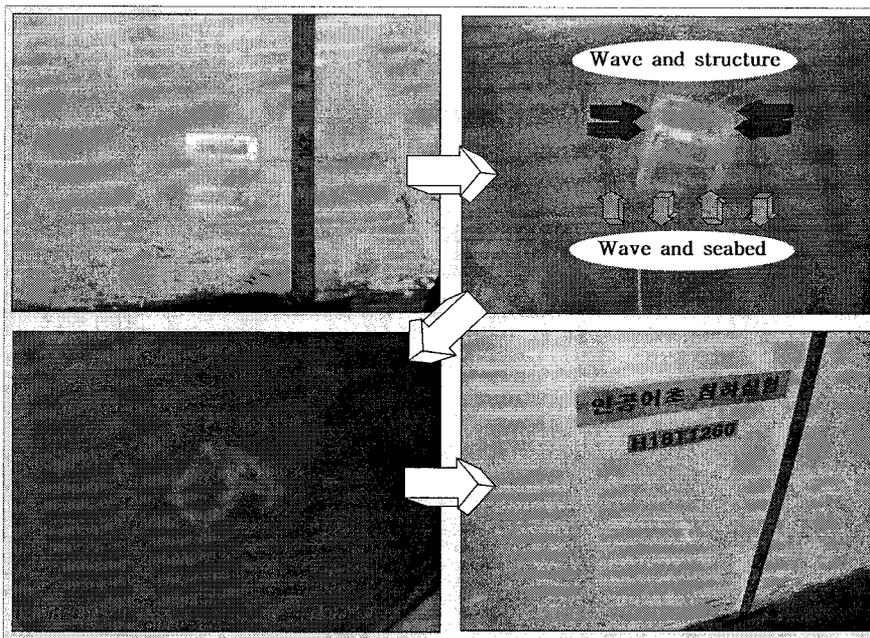


그림 34. 모형 사각어초의 침하과정.
 Fig. 34. Demonstration of subsidence process.

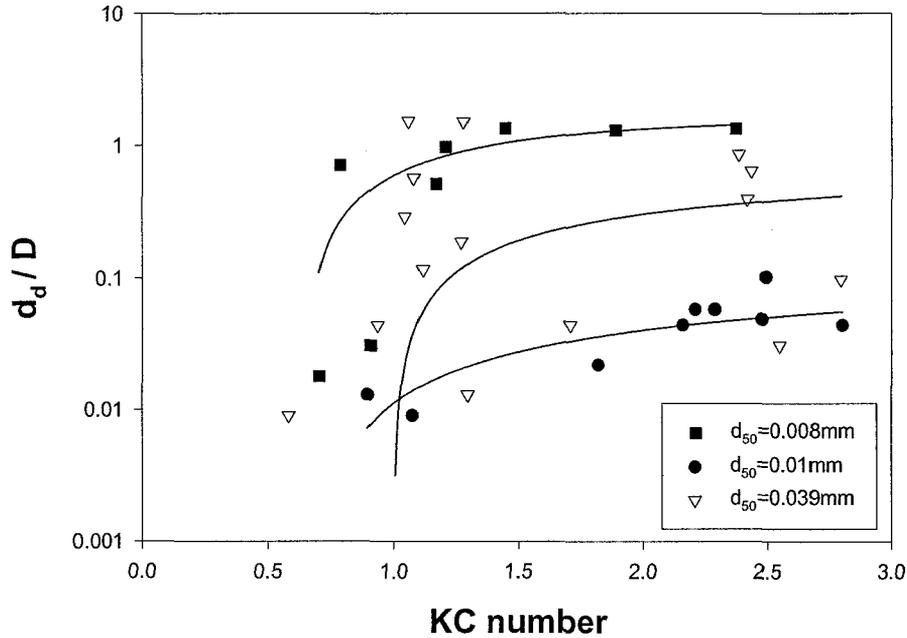


그림 35. 저질의 각기 다른 입경하에서 KC수별 모형사각어초의 침하량.

Fig. 35. Subsidence of model dice reef according to KC number under the different grain size.

증가하였다(그림 36). 침하는 KC수가 1.0이하에서는 적으나 1.0이상이 되면 급격히 일어나고 1.0 이후에는 침하의 변동이 크지 않았다. 따라서 파동장에 있어서 연약해저지반상에서의 인공어초 침하는 파고에 대해 민감하게 반응하며 파고가 증가함에 따라 초기에는 침하속도가 미소하지만 일정한 파고 이상일 경우에($0.2 < H/h < 0.3$) 전 단계보다 급속하게 침하속도가 증가하게 된다. 이와 같은 결과는 그림 3-3-36에서 상대파고에 대한 침하속도가 직선이 아닌 곡선적으로 변화하고 있는 것으로 알 수 있다. 그림 37은 여러 외력조건에서의 전단강도에 따른 모형사각어초의 침하량을 나타낸 것이다. 그림 37에서 알 수 있는 바와 같이 최대침하량은 전단강도와 반비례하고 KC수가 작을수록 최대침하량이 낮게 분포함을 나타내고 있다.

따라서 연약해저지반의 전단강도는 인공어초의 동적인 침하에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있고, 설계·시공시에 반드시 이러한 문제를 고려해야 할 것이다. 즉, 입도조성과 아울러 해저지반의 강도특성이 고려되어야 하는 것을 입증해주었다고 할 수 있다. 파동장에 있어서의 파랑조건에 따라 입도조성이 다를 경우 각 모형체의 침하량이 다를 수 있다. 그림 38은 각기 다른 KC수별, 입도별 모형 사각어초의 침하량을 나타 낸 것이다.

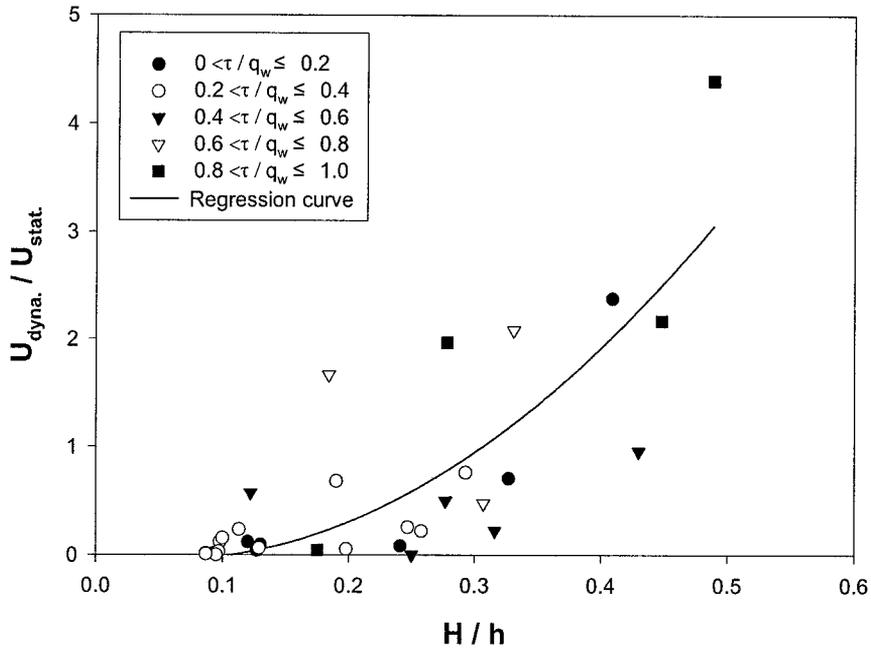


그림 36. 전단강도별 상대파고에 의한 모형 사각어초의 침하속도.

Fig. 36. Subsidence velocity of model dice reef according to relative wave height under the different shear strength.

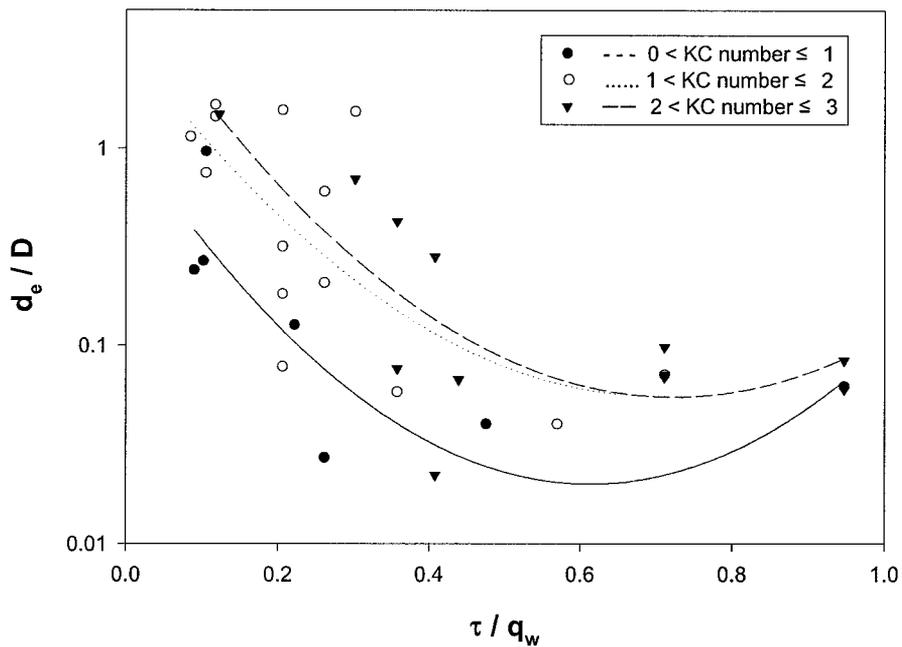


그림 37. KC수에 의한 전단강도별 모형 사각어초의 침하량.

Fig. 37. Maximum subsidence of model dice reef according to shear strength under the different KC number.

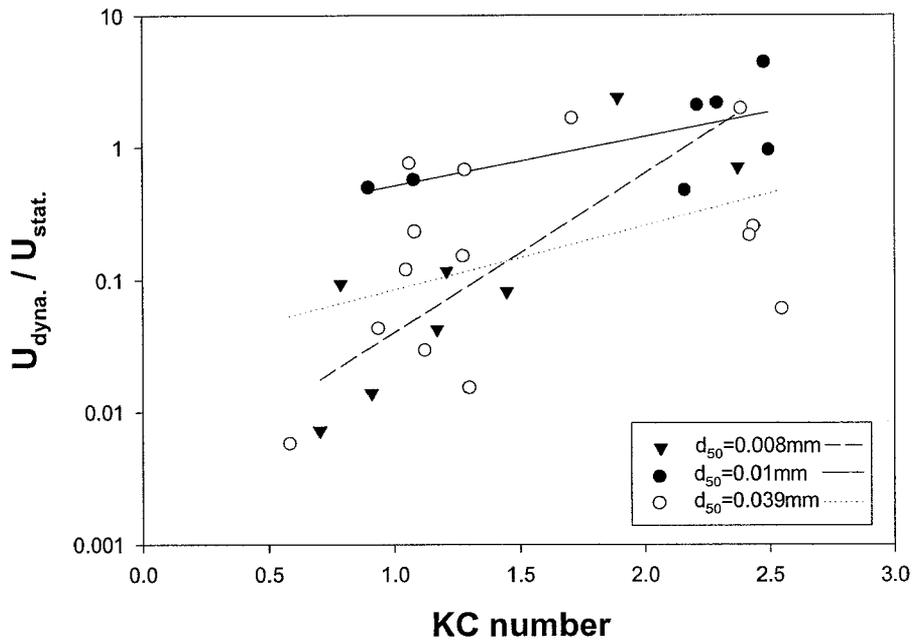


그림 38. KC수별 모형 사각어초의 침하속도.

Fig. 38. Subsidence velocity of model dice reef according to KC number.

침하량은 동하중 조건(파랑장)에서 침하속도($U_{dyna.}$)를 정하중 조건에서의 침하속도($U_{stat.}$)로 무차원화하였다. 이 값이 크다는 것은 침하량이 크다는 것을 의미한다. 실험에 사용된 입도중 KC수가 1.0의 경우에는 대표입경이 가장 작은 0.008 mm에서 침하량이 작았으나, 이것은 대표입경 0.008 mm의 저질상의 압밀상태가 다른 것에 비해 안정화(전단강도가 큼)되었기 때문이라고 할 수 있다. 그러나 KC수가 2.5에서는 대표입경이 가장 큰 0.039 mm에서 침하량이 가장 적었고 대표입경이 가장 작은 0.008 mm에서 가장 높게 나타났다. 모형 인공어초는 여러 하중이 주어짐으로써 시간의 경과에 따라 침하가 일어나므로 침하의 정도를 침하속도(U_{sv})로 나타낼 수 있다. 이 U_{sv} 값이 제일 크다는 것은 일정 침하량에 도달하는데 걸리는 시간이 제일 빠르다는 것을 의미한다. 즉, 인공어초의 안정성을 파괴하는 외력이 시·공간적으로 가장 크게 작용하는 경우인 것이다. 파동장에서의 최종침하량은 대체로 침하속도에 비례하는 경향을 보여주었는데, 침하속도가 크면 상대적으로 최종침하량도 크게 나타나는 것이다.

(나) 파랑장 및 공존장에서의 침하·매물 특성

동적인 침하가 거의 발생하지 않는 흐름장을 제외하고 파동장과 공존장의 침하특성

을 비교할 경우, 파동장에서 파수가 증가함에 따라 침하량은 증가하였으며 일정 파수이상 일 경우에 안정화되었는데 800파 이상일 경우에는 거의 최종침하량과 차이가 없었다. 실험관찰결과, 파동장에서는 모형인공어초가 파랑에 대해서 전후로 계속 진동하였으며 파고에 따라 저질층이 상하로 진동하였다. 그리고 KC수가 1 이상인 경우에 동적인 침하가 발생하기 시작하는 것이다.

한편 흐름장의 경우 침하량을 조사한 결과 0.24 m/s까지는 유속의 영향에 의한 모형사각어초의 침하량은 없었다. 그림 3-3-39는 파랑장에서의 파수별(t/T) 모형사각어초의 침하량을 나타낸 것이다. 침하량은 KC수에 관계없이 800파까지는 급격히 일어났으며, 그 이후로는 큰 차이가 없었다. 800파 이상에서 침하량이 변동이 없는 것은 반복되는 파랑작용에 의해 안정화되어 작용하는 유체력보다 저면의 지지력이 크다는 것을 의미한다. 그러나, 파랑과 흐름이 공존하는 장에 있어서는 파랑장만이 작용하는 장에서와 다른 경향을 나타내었다. 그림 3-3-40은 공존장에서의 파수별(t/T) 모형사각어초의 침하량을 나타낸 것이다.

공존장에서의 KC수는 2.92~4.95의 범위이다. 침하량은 파랑장(800파)에서보다 빠른 300파 이후로는 변화가 크지 않았다. KC수별 침하량을 보면 3.85까지는 침하량이 크지 않았으나 4.19이상에서 비교적 침하가 크게 일어났다. 그림 41은 공존장에서의 모형사각어초의 최종침하량(d_e)을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 파동과 흐름이 공존하는 장에서는 파동장만의 조건에서보다 침하가 늦게 일어났으며 그 양도 적었다. 그림 3-3-42는 파랑장 단독으로 작용할 경우와 흐름과 파랑이 함께 작용하는 경우를 비교한 것이다. 공존장에서 상대파고에 대한 침하속도는 상대파고가 커짐에 따라 파랑장만이 작용하는 조건에서 공존장의 조건에서 동일한 파고일지라도 크게 일어났다. 이와 같은 결과는 연약해저 지반에서 인공어초의 침하가 흐름이 공존하는 파랑장보다는 흐름이 없는 단일 파랑장에서 침하가 쉽게 발생한다는 것을 의미한다.

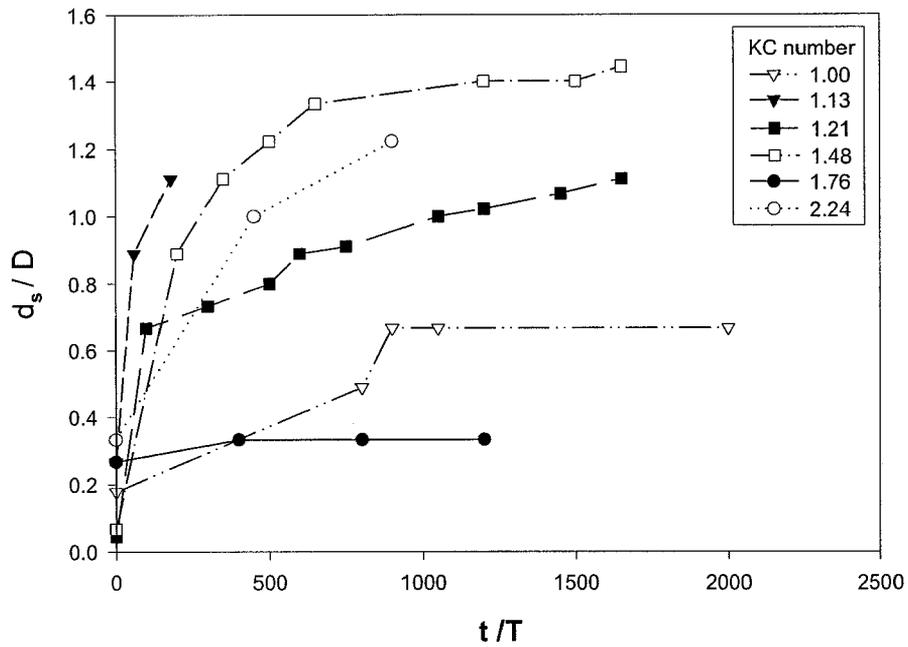


그림 39. 파랑장에서 경과시간별 모형 사각어초의 침하량.

Fig. 39. Subsidence of model dice reef according to time elapse in wave field.

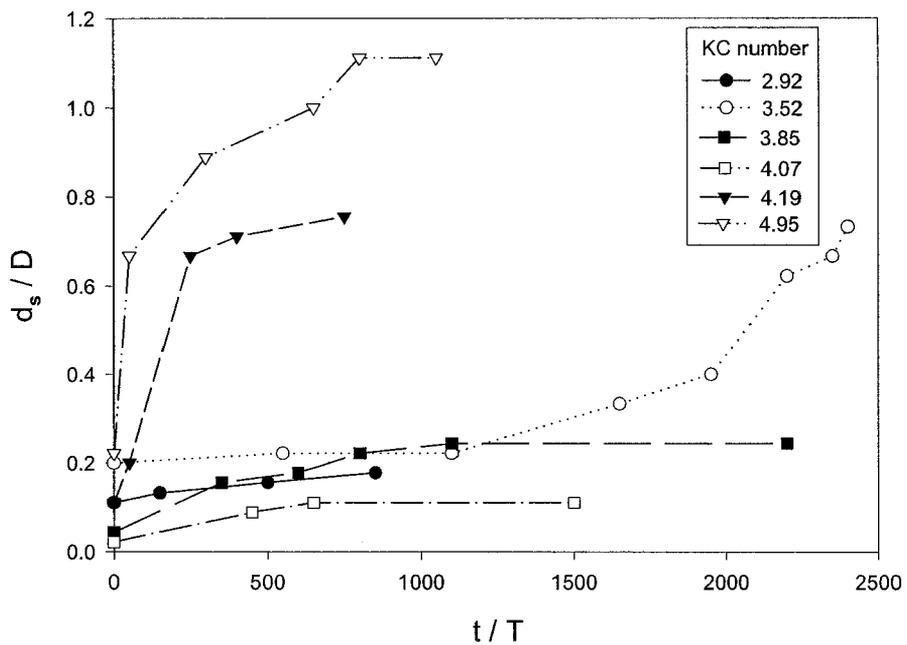


그림 40. 파랑과 흐름의 공존장에서 시간경과별 모형 사각어초의 침하량.

Fig. 40. Subsidence of model dice reef according to time elapse in wave and flow field.

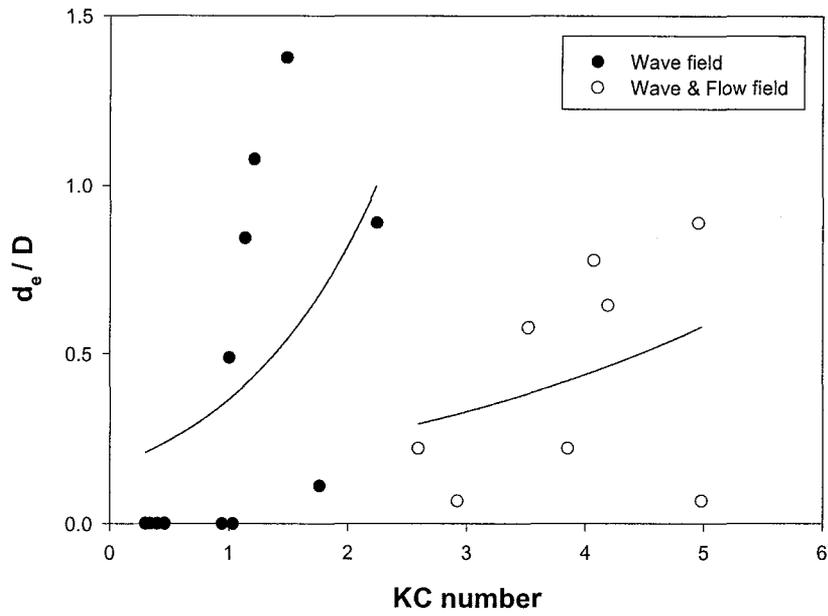


그림 41. KC수별 모형 사각어초의 최대침하량.

Fig. 41. Maximum subsidence of model dice reef according to KC number.

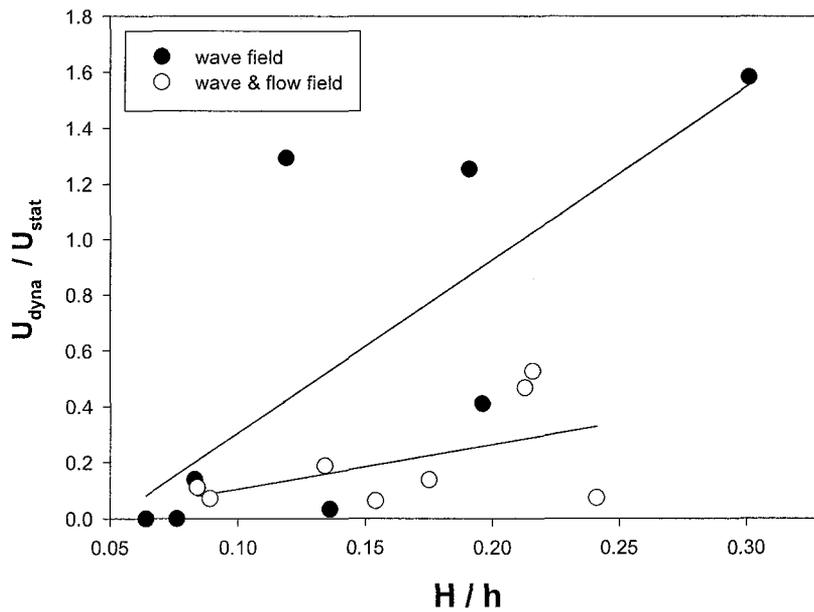


그림 42. 상대파고별 모형사각어초의 침하속도.

Fig. 42. Subsidence velocity of model dice reef according to relative wave height.

나. 옥외실험

상자형어초의 니질에서의 침하특성을 조사하기 위해 기존 설계도 중에서 저판을 개선하여 단위면적당 하중을 낮게 하였다. 상자형어초는 팽이파일을 제외한 단위면적당 무게는 0.264 kg/cm^2 이나, 본 실험에서는 저판의 넓이를 6.5 m^2 로 하여 기존의 2.92 m^2 보다 넓게 하였다. 따라서 단위면적당 하중을 0.119 kg/cm^2 로 하여 4기를 제작하였다. 침하실험의 지속적인 관찰을 위해 2002년 3월 15일 m^3 니사질, 니질 등로 조성된 곳에 시설하였으며, 니사질역에서 침하 깊이는 시설 직후 약 40 cm 였다(그림 43). 금후 지속적인 관찰을 통하여 니질해역에 시설이 가능한 어초구조를 개발할 예정이다.

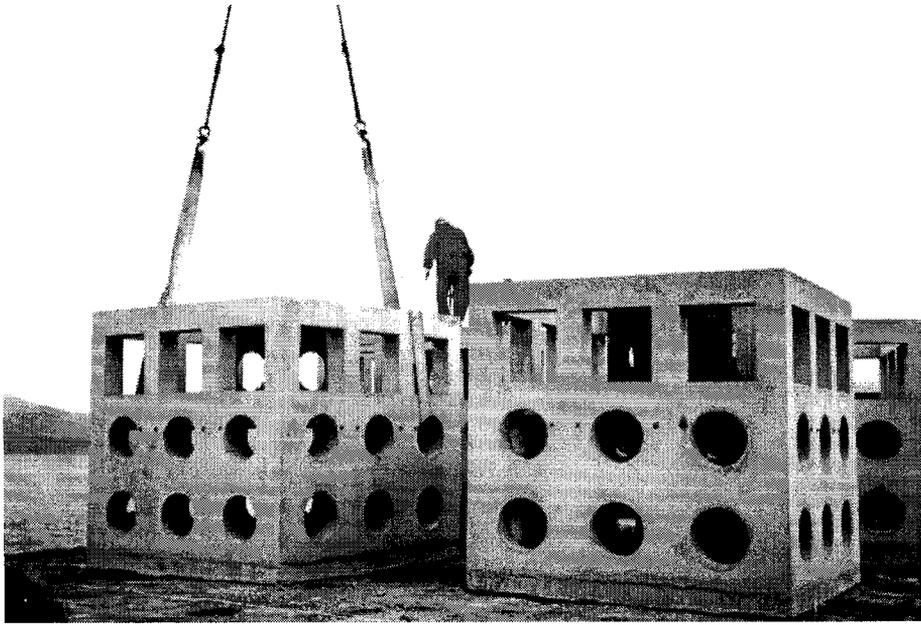


그림 43. 상자형어초의 시설광경.

Fig. 43. View of installing a modified box reef.

IV. 요약 및 결론

1. 통영해역 바다 목장 조성지 주변의 어초시설량 조사

통영해역 바다 목장 지역(20 km²) 및 주변 지역(89 km²)에 시설된 어초의 종류 및 시설량은 바다 목장 20 km² 지역의 경우 713 ha이며, 어초의 종류는 소형 사각어초(1×1×1 m), 대형 사각어초(2×2×2 m), 반구형어초(ø2.0×1.3 m), 고선어초 등 4종이다. 그리고 바다목장 주변 지역(89 km²)에 시설된 어초의 량은 1,133.5 ha이며, 어초의 종류는 대형 사각어초(2×2×2 m), 반구형어초(ø2.0×1.3 m), 고선어초 등 3종이다.

2. 바다 목장화 조성지에 시설된 상자형 어초의 어획 생산성 조사

상자형 어초는 시설 후 9개월째인 8월 28일 조사 결과, 매몰은 2000년 11월 28일 조사시 측정된 5~10 cm정도 값과 차이가 없었으며, 모든 어초는 정상적으로 시설되어 있었다.

상자형 어초와 자연초에서 삼중자망에 의해 어획된 어종은 20종으로 상자형 어초의 경우, 조피볼락, 넙치, 능성어, 참돔, 말쥐치, 물가자미 등 16종, 자연초에서는 망상어, 말쥐치, 양태 등 12종이었다. 상자형 어초에서 어획된 어종에 대하여 어초성을 분류해 보면, I형 어류는 조피볼락, 넙치, 능성어 등 4종, II형 어류는 참돔 등 4종이었다.

상자형 어초와 자연초에서 삼중자망에 의한 어획량을 보면, 상자형 어초의 경우 어획 어종은 16종, 어획량은 폭당 3.4 kg, 자연초에서는 12종, 폭당 어획량은 0.8 kg으로 어종수에 있어서는 큰 차이가 없었으나, 어획 중량에 있어서는 상자형 어초에서 4.1배 정도 높게 나타났다.

3. 인공어초에 의한 통영해역 바다목장 적정어장 조성규모

통영해역 바다목장에 시설된 상자형어초 시설지에서의 시험어획결과를 토대로 추정되는 증산량은(1337 kg/단지)이다. 따라서 연간 250톤을 어획량 목표로 가정하면 적정 어초시설은 187개 단지로 계산된다. 현재 통영해역 바다목장지역내에 시설된 어초어장(어류용어초) 539 ha(34단지)를 제외하면 실제 필요한 단지는 153개가 추가조성되어야 할 것으로 추정된다. 여기서 제시된 어장은 시험조업 및 주변 어업환경을 가정한 값을 적용하였으므로 많은 차이가 있을 것이다. 하지만 향후 일정해역의 목장화를 위한 어장조성시설로 이와 같은 과정 아래에서 검토, 계획되어야 할 것이다.

4. 어초에서 참돔의 행동 및 이동경로 추적

평거를 장착시킨 참돔은 곤리도 수심 25 m에 시설된 상자형어초에 잠수부로 방류하여 추적을 행하였다. 방류는 2001년 11월 24일 12시 35분에 실시하였다. 방류된 참돔은

어초시설지에 머무르지 않고 수심 20 m 등심선을 따라 이동하였으며, 이동은 3시간 5분 동안 약 2,460 m를 이동하였다.

5. 상자형 어초의 저질조성별 내침하성 저면구조 개선

인공어초는 연약해저지반 위에 시설되면 다양한 외력에 의해 복잡한 거동을 하게 되며 그 특성에 대해 정적인 면과 동적인 면으로 나누어 생각할 수 있다. 처음 지반에 닿으면서 탄성적인 거동을 하게 되고 이후 압밀침하와 함께 파랑과 흐름에 의해 유체력을 받게 된다. 파랑과 흐름은 구조물과 지반에 각각 큰 외력으로서 작용하여 그 크기에 따라 구조물은 안정 혹은 불안정한 상태에서 침하가 일어나게 된다.

침하와 관련해서 어초의 초기침하량은 지반의 전단강도에 반비례하며, 동적침하량은 KC수에 비례하여 나타났다. 본 실험의 주어진 조건에서 파랑장에서는 KC수가 1이상일 경우에 유의적인 침하가 발생할 가능성이 컸다. 흐름장에서는 주어진 조건에서 침하가 발생하지 않았고, 파랑장과 흐름·파랑 공존장을 비교하면, 파랑장은 공존장에 비해 침하가 더 빠르게 발생하여 빨리 안정화되는 경향이었으며, 파랑장의 침하속도가 공존장에 비교하여 상대적으로 컸다. 또한 상대적으로 파랑장이 KC수에 더 큰 영향을 받았다.

한편, 상자형어초의 니질에서의 침하특성을 조사하기 위해 기존 설계도 중에서 저판을 개선하여 단위면적당 하중을 0.264 kg/cm^2 에서 0.119 kg/cm^2 로 하여 4기를 제작하였다. 침하실험의 지속적인 관찰을 위해 2002년 3월 15일 니사질, 니질 등로 조성된 곳에 시설하였으며, 니사질역에서 침하 깊이는 시설 직후 약 40 cm였다. 금후 지속적인 관찰을 통하여 니질해역에 시설이 가능한 어초구조를 개발할 예정이다.

참고 문헌

- Kim, C. G., 2001. Artificial reef in Korea, Fisheries, American Fisheries Society, Vol. 26, NO. 12, 15-18.
- Lee Song, 1994. A Study on Strength Characteristics of Dredge Soft Clay, Korea Geotechnical Society, 153-166.
- 恒星社厚生閣, 1990. テレメトリーによる水産動物の行動解析, 31-40.
- 日本農林水産技術會議事務局. 1989. 海洋牧場, 601-617.
- 국립수산진흥원, 1989. 全國 沿岸 人工魚礁漁場 生産性 조사, 26-28.
- 국립수산진흥원. 2000a. 통영해역 바다 목장화 연구개발 용역사업 1차 보고서, 43-54.
- 국립수산진흥원. 2000b. 강제어선의 인공어초 실용화에 관한 보고서, 12-17.

통영해역 바다 목장화 연구 개발 용역사업 보고서
- 인공어초 조사

Studies on the Development of Marine
Ranching Program in Tongyeong, Korea
- Survey of artificial reefs

2003. 4



해양수산부
국립수산과학원

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 『2002 통영해역의 바다 목장 연구개발 용역 사업 보고서』 중 “어초조사”의 보고서로서 제출합니다.

2003. 4

주관 연구기관 : 한국해양연구소

총괄 연구 책임자 : 김종만

협동연구기관 : 국립수산과학원

세부과제 책임자 : 김창길(어초조사 연구)

연구원

국립수산과학원 : 김창길, 김호상, 김태호, 손병규, 백철인, 박영철,
태종환

요 약 문

본 연구는 통영바다목장 조성지 내의 인공어초 시설에 필요한 자료를 확보코자 수행하였다. 조사는 기존어초 시설지와 그리고 금후 시설 예정지에 대하여 실시하였다. 기존어초 시설지에 대해서는 어초의 시설량, 시설 개소, 시설위치, 및 어초종류, 그리고 어초어장으로서의 기능에 대하여 분석하였다. 동 조사중 어초의 시설량, 시설 개소, 시설위치, 및 어초종류에 대해서는 Side Scan Sonar와 잠수조사, 그리고 어초어장으로서의 기능에 대한 조사는 어획조사와 잠수관찰로 수행하였다. 한편, 어초 시설 예정지의 평가와 관련해서는 달아공원과 축도사이 그리고 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역에 대하여 조사를 수행하였다. 동 조사 지역에 대한 시설적지는 저질의 조성, 저질의 전단강도 및 지층탐사의 결과로부터 평가하였다.

통영바다목장 조성지에 내에 시설된 어초의 장소는 29개소이며, 시설규모는 752 ha이다. 시설어초 종류는 사각어초, 반구형어초, 강제어초 등 3종류이다. 어초어장의 기능과 관련하여 시설 장소 중 20개소는 패·조류용 어초시설지, 그리고 9개소는 어류용 어초 시설지이다. 통영바다목장 내에 시설된 어초의 어초기능 조사는 1978년, 1987년 그리고 1998년에 시설된 3곳에 대하여 조사하였으며, 조사 결과 이들 어초어장에 조피블락과 쥐노래미가 모여들이 관찰되었고, 삼중자망에 의한 폭당 어획량도 947~4,463g의 범위였다. 이들 결과로부터 바다목장 내에 시설된 어초는 어초어장으로서 기능을 충분히 발휘하고 있음이 입증되었다.

달아공원과 축도사이에 위치한 지역의 저질조성은 패각과 패각편으로 구성되어 있으며, 음향기반암의 두께는 10~20 cm 범위였다. 한편, 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역의 저질은 니질과 니패각질로 구성되어 있었으며, 유사한 조립질의 함량을 갖는 지층의 두께는 50~60 m.범위였다. 동 지역은 달아공원과 축도사이에 위치한 지역의 저질조성과 달리 니질과 니패각질로 구성되어 있고, 지층도 두꺼워 매물여부를 추정하기 위해 전단강도 값을 조사하였다. 조사된 전단강도 값은 4.58~21.00 kPa 범위로 20 cm정도의 매물이 일어난 사각어초 시설지역의 전단강도 값 1.01~5.25 kPa 보다 높게 나타났다. 이것은 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역에 어초를 시설하여도 매물의 우려는 적다는 것을 의미한다. 이들 결과로부터 2개소에 대한 정확한 적지위치를 나타내면, 달아공원과 축도사이에 위치한 지역의 경우, 34°45'46"~34°45'48"와 128°23'30"~128°23'33", 그리고 34°45'52"~34°46'00"와 128°23'48"~128°24'00"사이이다. 한편, 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역의 경우, 34°43'54"~34°44'15"와 128°22'36"~128°23'06", 그리고 34°44'00"~34°44'12"와 128°23'18"~128°23'30"사이이다.

Summary

This study was carried out to give informations on the installation of artificial reefs at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. The investigation were made into the existing artificial reefs, and the site selection for the installation of reefs from now on. The former was surveyed to the amounts, configurations, locations and types of the installed artificial reefs, and to their functions as fishing grounds. They were analyzed by Side Scan Sonar and divers. On the other hand, the latter was assessed to two sites, which are situated between Dala park and Chuk-do, and in the south of Manji-do and Yeondae-do. It was decided based upon the condition of reef settlement like the compositions of sediment, acoustic profile of geological stratum and their shear strength.

The area of artificial reef installation at Tongyeong marine ranching area is 29 sites, and their size amount to 753 hectares. Three types of artificial reefs, Dice, turtle and steel reef, were installed. In relation to target species, 20 areas were created for shell fishes, and the other for fishes. The results of survey on reef function at three areas, which was installed in 1978, 1987 and 1998, showed that rockfish and fat cod were gathered around the installed reefs. Fish catch per net from trammel gill net ranged from 947 to 4,463g. The depth of settlement of installed reefs was as low as 20 cm. These results indicate that reefs constructed at marine ranching area work their functions as fishing grounds. The sediment of location between Dala park and Chuk-do was composed of shell and shell fragment. And the thickness of acoustic basement ranged from 10 to 20 cm. While the sediment of site situated in the south of Manji-do and Yeondae-do was composed of mud and muddy shell. And the thickness of identical acoustic profile was as large as about 50 to 60 m. But shear strength of sediment in the depth of 80 cm from seafloor ranged from 4.58 to 21.00 kPa. The value was higher than that of site of dice reef with settlement of about 20 cm. This means that a site situated in the south of Manji-do and Yeondae-do is suitable to installation of reefs. In consideration of location of reef installation at two areas, it is estimated that the suitable location between Dala park and Chuk-do is between $34^{\circ}45'46''$ to $34^{\circ}45'48''$ and $128^{\circ}23'30''$ to $128^{\circ}23'33''$, and between $34^{\circ}45'52''$ to $34^{\circ}46'00''$ and $128^{\circ}23'48''$ to $128^{\circ}24'00''$. On the other hand, it is estimated that the suitable location in the south of Manji-do and Yeondae-do is between $34^{\circ}43'54''$ to $34^{\circ}44'15''$ and $128^{\circ}22'36''$ to $128^{\circ}23'06''$, and between $34^{\circ}44'00''$ to $34^{\circ}44'12''$ and $128^{\circ}23'18''$ to $128^{\circ}23'30''$.

표 목차

표 1. 어초 시설상태 조사에 사용된 Side Scan Sonar (SS-100)의 사양	4
표 2. 해저지층탐사기의 제원	7
표 3. Beacon 수신기의 제원	14
표 4. 바다목장화조성지(20 km ²)에 시설된 어초 종류 및 수량('78~'02)	19
표 5. 바다목장화조성지(20 km ²)에 시설된 어초의 시설상태('78~'02)	20
표 6. 인공어초 시설 예정지의 저질입도 및 전단강도	26
표 7. 통영바다목자 조성지 내에 시설된 사각어초 어장의 시설 결과 연도별 삼중자망에 의한 어획량 비교	42

List of Tables

Table 1. Specifications of Side Scan Sonar (SS-100) used to the survey	4
Table 2. Specifications of Chirp Subbottom Profiler system	7
Table 3. Specification of transducer of Beacon	14
Table 4. The type and scale of reefs installed at Tongyeong marine ranching area (20 km ²) in the province of Kyongnam, Korea ('78~'02)	19
Table 5. The configuration of artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area (20 km ²) in the province of Kyongnam, Korea ('78~'02)	20
Table 6. Grain compositions and its shear strength of vertical sediment collected at the expected area of artificial reef installation by gravity corer	26
Table 7. Comparition of fish catch from trammel gill net at Dice reefs installed at different years in Tongyeong marine ranching area, Korea	42

그림 목차

그림 1. 통영해역 바다 목장화 조성지.	3
그림 2. 어초 시설상태 조사에 사용된 Side Scan Sonar (SS-100).	3
그림 3. 지층탐사기에 의한 지층탐사 지역(지역 A).	5
그림 4. 지층탐사기에 의한 지층탐사 지역(지역 B).	5
그림 5. 지층탐사기에 의한 지층탐사 지역(지역 C).	6
그림 6. 지층탐사기 본체(상), 구성품(하).	8
그림 7. 지층탐사기의 Tow Vehicle.	9
그림 8. 해저지층탐사기 Tow Vehicle의 운용광경.	10
그림 9. 주상시료를 채취하는데 사용된 중력시추기.	11
그림 10. 주상채니기로 시료를 채취하는 장면.	12
그림 11. 회수된 중력시추기로부터 주상시료를 획득하는 과정.	13
그림 12. DGPS 수신기(GBX-PRO) 사진(상) 및 수신기 안테나(하).	15
그림 13. Hypack MAX의 소프트웨어 화면.	15
그림 14. 통영바다목장 내에 시설된 인공어초 위치도. 위치도에 나타난 번호는 어초 시설 위치를 나타냄.	18
그림 15. 통영바다목장 내에 시설된 사각어초의 형상.	23
그림 16. 통영바다목장 내에 시설된 사각어초와 반구형어초의 형상.	23
그림 17. 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역 A의 탄성과 단면도. N과 W는 북쪽과 서쪽을 나타냄.	24
그림 18. 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도. SW와 NE는 남서 그리고 북동 방향을 나타냄.	28
그림 19. 해저면에서 80 cm 깊이까지 채취한 주상시료의 갖기 다른 고화상태.	30
그림 20. 부도 남측에 위치한 사각어초 시설지(지역 C)의 탄성과 단면도. N과 S는 북쪽과 남쪽을 나타냄.	31
그림 21. 인공어초 시설 예정지의 퇴적물 유형 삼각다이어그램.	34
그림 22. 통영바다목장 내의 저질조성도.	36
그림 23. 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역 A의 지층두께.	38
그림 24. 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역 B의 지층 두께.	38
그림 25. 부도 남측에 위치한 사각어초 시설지(지역 C)의 지층 두께.	39
그림 26. 통영바다목장 내의 곤리도에 시설된 어초 형상. 어초의 용적은 8 m ³ 이며, 어초 어장은 3개의 단위어초로 구성되어 있음.	40
그림 27. 통영바다목장 내의 옅도도에 시설된 어초 형상. 어초의 용적은 8 m ³ 이며, 어초	

어장은 1개의 단위어초로 구성되어 있음.	40
그림 28. 통영바다목장 내의 곤리도에 시설된 어초 형상. 시설어초는 한변이 1 m인 사각 어초로, 어초 어장은 분산되어 있음.	41

List of Figures

Fig. 1. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.	3
Fig. 2. Side Scan Sonar (SS-100) used to the observation of artificial reefs.	3
Fig. 3. Subbottom survey area by chirp profiler (Site A).	5
Fig. 4. Subbottom survey area by chirp profiler (Site B).	5
Fig. 5. Subbottom survey area by chirp profiler (Site C).	6
Fig. 6. Main body (the upper) and its components (the lower) of Chirp Subbottom Profiler.	8
Fig. 7. Tow Vehicle of Chirp Subbottom Profiler.	9
Fig. 8. Operating view of tow vehicle of Chirp Subbottom Profiler.	10
Fig. 9. Gravity corer used in collecting core samples.	11
Fig. 10. Views of collecting core samples by gravity corer.	12
Fig. 11. Views preparing samples for analysis of their compositions after collecting core samples by gravity corer.	13
Fig. 12. Main body and antenna of GBX-PRO, Differential Global Positioning System.	15
Fig. 13. Display view by software of Hypack MAX.	15
Fig. 14. Location of artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.	18
Fig. 15. Configuration of Dice reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.	23
Fig. 16. Configurations of Dice reefs and Turtle reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.	23
Fig. 17. Acoustic profile of site A situated between Chuk-do and the Dala park in the province of Kyongnam, Korea. N and W indicate the north and west of site A.	24
Fig. 18. Acoustic profile of site B situated between Manji-do and Yeondae-do in the province of Kyongnam, Korea. SW and NE indicate the south-west and	

north-east of site B.	28
Fig. 19. The state of consolidation of sediments collected from seafloor to the depth of 80cm by gravity corer.	30
Fig. 20. Acoustic profile of dice reef area (site C) situated at the south of Bu-do in the province of Kyongnam, Korea. N and S indicate the north and south of site C.	31
Fig. 21. Triangular diagram of the sediment type collected at the expected area of artificial reef installation by gravity corer.	34
Fig. 22. Map showing the composition of sediment at the Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.	36
Fig. 23. The thickness of subbottom of site A situated between Chuk-do and the Dala park in the province of Kyongnam, Korea.	38
Fig. 24. The thickness of subbottom of site B situated between Manji-do and Yeondae-do in the province of Kyongnam, Korea.	38
Fig. 25. The thickness of subbottom of dice reef area (site C) situated at the south of Bu-do in the province of Kyongnam, Korea.	39
Fig. 26. Configuration of Dice reefs installed at Gonri-do in Tongyeong marine ranching area, Korea. The volume of Dice reef is 8m ³ . The reef ground consists of three reef sets.	40
Fig. 27. Configuration of Dice reefs installed at Okok-do in Tongyeong marine ranching area, Korea. The volume of Dice reef is 8m ³ . The reef ground consists of one reef set.	40
Fig. 28. Configuration of Dice reefs installed at Gonri-do in Tongyeong marine ranching area, Korea. The volume of Dice reef is 1 m ³ . Reefs was scattered.	41

목 차

요 약 문	i
Summary	ii
List of Tables	iii
List of Figures	iv
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	2
1. 통영해역 바다 목장화 조성지 주변에 시설된 어초 위치 파악	2
2. 바다목장 조성 예정지 내의 어초 시설적지 평가	2
가. 탄성파탐사	4
나. 주상시료채취	9
다. 위치정보획득	9
라. 실험실 분석	11
3. 인공어초 어장의 기능 향상 요인조사	16
III. 결과 및 고찰	17
1. 통영해역 바다 목장화 조성지 주변에 시설된 어초의 시설 위치 파악	17
2. 바다목장 조성 예정지 내의 어초 시설적지 평가	22
가. 탄성파탐사	22
나. 입도분석	29
다. 전단강도	33
라 인공어초의 적정 시설 예정지	33
3. 인공어초 어장의 기능 향상 요인 조사	39
가. 인공어초 배치형태와 어획효과	39
나. 통영바다목장 조성지 내에 시설된 어초에서의 어류 위집 및 매몰 상태	42
IV. 결 론	43
1. 통영해역 바다 목장화 조성지 주변에 시설된 어초의 시설 위치 파악	43
2. 바다목장 조성 예정지 내의 어초 시설적지 평가	43
가. 탄성파탐사	44
나. 입도분석	44
다. 전단강도	44
라. 인공어초의 적정 시설 예정지	45
3. 인공어초 어장의 기능 향상 요인 조사	45
가. 인공어초 배치형태와 어획효과	45

나. 통영바다목장 조성지 내에 시설된 어초에서의 어류 위집 및 매물 상태 45
참 고 문 헌 47
부 록 49

I. 서론

바다목장화 조성의 목적은 바다의 생산력을 충분히 이용하거나 그 해역의 생산기구를 재편함으로써 어장을 종합화하고, 생산의 효율화를 도모하여 대상 종의 생산력을 향상시키는 데 있다. 유용 종의 생산 증강을 도모하기 위해서는 먼저 그 해역에 있어서 수용력이 문제가 되며, 원칙적으로는 바다의 수용력은 시간적 측면에서 보면 변동하는 것이지만, 그때 당시의 바다의 물리적 환경과 생물간의 경합에 의해서 포화상태로 되는 과정에서 균형을 유지하려고 한다.

따라서 그 해역에서 특정의 종을 증가시켜 새로운 바다의 생물환경을 조성하기 위해서는 인위적인 수용조건의 개량이 필요하다. 그의 대표적인 방법의 하나로는 어떤 해역에서의 시간적, 공간적 어업생산의 미이용 부분을 유효하게 이용하는 것이다. 이것에 대한 주요한 접근 방법으로는 대상해역을 적극적(직접적)으로 이용하는 방법인 자원첨가 이용형과 소극적(간접적) 이용방법인 잠재자원 이용형을 들 수 있다(日本農林技術會事務局, 1989). 전자는 미이용 자원을 증강하고자 할 경우에는 현재의 연쇄계의 수용력 안에서 자원을 투입(종묘방류)한다든지, 수용력의 일부를 공간적으로 구획하고 먹이를 투입하여 양식종을 육성(양식)하는 방법을 말한다. 한편, 후자는 현행 연쇄계를 인위적 수단에 의해서 확대한다든지, 혹은 기초생산력을 증강함으로써 간접적으로 자원의 증가를 도모하는 방법을 말한다. 하지만, 어떤 방법으로 대상해역을 개발하여 이용할 것인가에 대한 것은 해역마다 특성이 다르기 때문에 일률적으로 적용하기는 어려우며, 대상해역을 잘 파악하여 그 해역의 특성에 적합한 어장조성 개발방법을 도입해야 한다.

통영해역은 서식 어종이 풍부하여 낚시, 통발, 유자망 등 다양한 어법이 행하여지고 있으며, 삼중자망, 소형기선저인망 등에 의한 불법 어업도 빈번한 곳이다. 또한, 육지로부터 각종 오염물질이 유입되어 오염으로 인해 해역의 생산력이 크게 저하되어 있다. 이러한 어업실정을 감안할 때 통영해역 바다목장화의 조성에 필요한 기술로는 자원잠재력 이용형에 자원첨가 이용형을 가미한 복합형이 적합하다고 판단된다. 즉, 해역의 기초 생산력을 증가시켜 해역내의 서식 어종의 재생산력의 증강을 도모하는 자원잠재력 이용형에 해역에 서식하고 있는 어종을 대상으로 종묘를 인공적으로 생산하여 방류함으로써 보다 짧은 기간에 자원을 증대시킬 수 있는 자원첨가 이용형의 방법으로 보완한 복합형 기술이다. 전자는 통영해역에 출현하는 어종에 대해 서식 생태 습성을 파악하여 이들 어종의 서식에 필요한 먹이 생물 증대, 산란장 및 자치어 보육장 조성, 어획강도 저하 등을 위해 현행 연쇄계를 인위적 수단으로 개선시켜 산란에서 자치어 및 성어에 이르기까지 자원의 재생산력을 높이는 기술이다. 또한 후자는 통영해역에 서식하는 어종으로서 최근에 급격히 자원량이 감소한 어종을 선택하여 인공적으로 생산한 종묘를 방류하여 짧은 기간 내에 자원을 증강시키는 기술이다. 종묘방류 어종과 관련해서는 양식 어종으로 널리 이용되

는 비교적 고급 어종인 조피볼락을 주 대상 어종으로 선정하였다.

통영해역 바다 목장 개발 연구는 1998년부터 시작하였으며, 2000년까지는 바다 목장 조성에 필요한 기반조사를 실시하였다. 그리고 2001년부터 2004년까지는 조사된 자료를 토대로 바다 목장조성에 필요한 관련 기술을 적용하고 동 기술을 타 해역 바다 목장 조성시 적용할 수 있도록 적용과정에서 나타난 문제점을 분석하고 관련 기술을 향상시켜 나아갈 예정이다. 2002년에는 바다목장의 조성에 필요한 어초 시설량을 결정하기 위해 기존어초의 시설량을 조사하였다. 그리고 새로이 어초시설(적지조사)을 위해 잠수 등 현장 관찰을 통해 어류의 위집이 높다고 예상되는 곳에 대하여 어초의 매몰 등을 최소화하기 위해 탄성파에 의한 지층조사를 실시하였다. 특히 기존 어초의 시설량을 조사함에 있어 시설량 이외에 시설위치, 시설높이, 시설상태 등을 조사하였다. 이와 함께 바다목장화 내에 시설된 어초에 대하여 페그몰 걸림 등 인공어초 기능 저하요인에 대해서도 조사를 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 통영해역 바다 목장화 조성지 주변에 시설된 어초 위치 파악

바다목장 조성지 20 km² 내의 시설 어초에 대하여 Side Scan Sonar를 이용하여 단위 어초의 시설 위치, 수량, 높이 및 면적, 시설상태 등을 조사하였다(그림 1). 조사에 사용된 Side Scan Sonar는 SS-100(그림 2)이며, 사양과 관련해서는 펄스간격은 100~400 ms, 발신주파수는 400 kHz, 스캔 폭은 30~800 m이다(표 1).

조사는 기존 도상자료를 기초로 하여 실시하였고, 어초의 시설위치, 수심, 저질을 분석하여 어초의 시설도, 수심도, 저질분포도를 작성하였다. 인공어초 시설위치 확인은 통영해역바다목장 면적 20 km² 내에 시설된 기존 어초에 대하여 Side Scan Sonar로 확인하여 정확한 경위도를 표시하고, 인공어초의 시설 위치를 확인함에 있어 Side Scan Sonar의 좌우 주사 폭은 70 m까지로 하여, 어초의 실제 높이 및 면적을 계산하였다. 수심 측정은 통영해역바다목장 내의 면적 20 km² 에 대하여 음향측심기 등으로 실시하였고, 실측자료는 인근 조위관측소 등의 자료를 이용하여 기준수위면을 보정하여 수심도를 작성하였다. 저질은 조사지역 내에 100점을 선정하여 실시하고, 100점 중 40점에 대해서는 왜도, 균등도, 전단강도 등 정밀분석을 행하여 저질분포도를 작성하였다. 동 자료를 이용하여 통영해역 바다목장 내의 면적 20 km² 에 대하여 인공어초 시설위치, 수심, 저질분포의 정보를 일괄 표기하여 종합정보도를 작성하였다.

2. 바다목장 조성 예정지 내의 어초 시설적지 평가

어초시설을 위해 잠수 등 현장관찰을 통해 어류의 위집이 높다고 예상되는 곳에 대

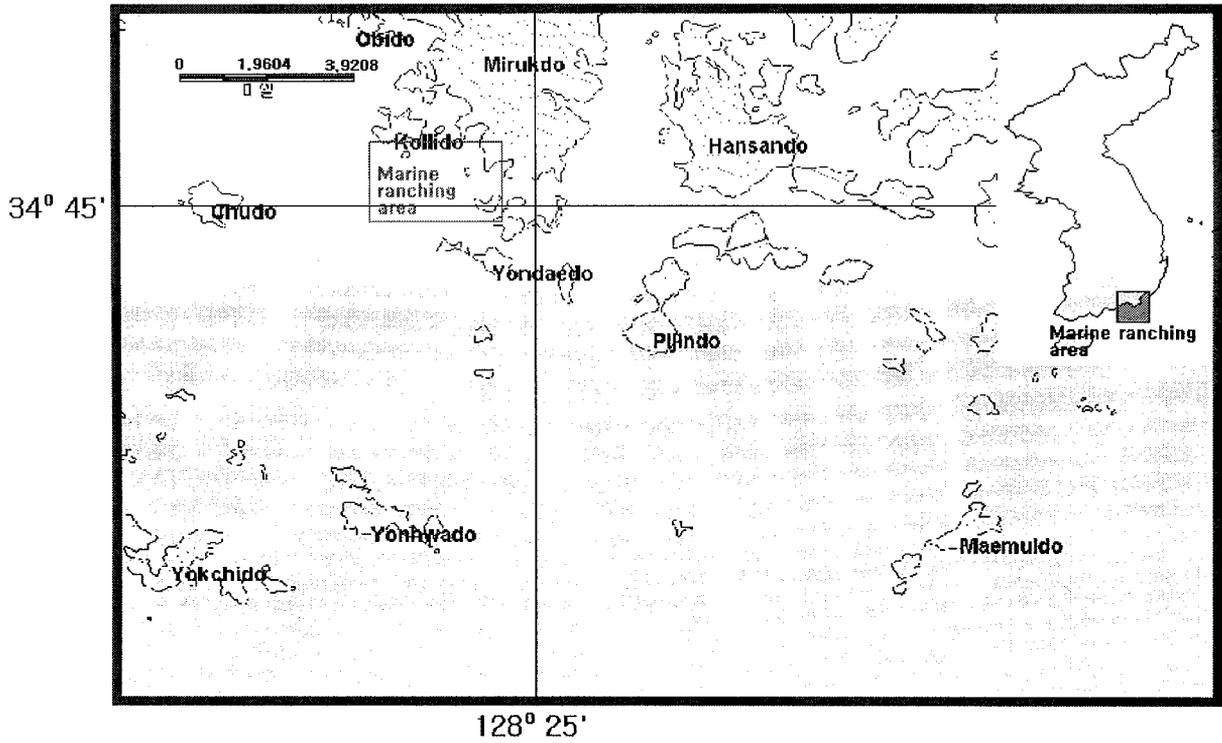


그림 1. 통영해역 바다 목장화 조성지.

Fig. 1. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.

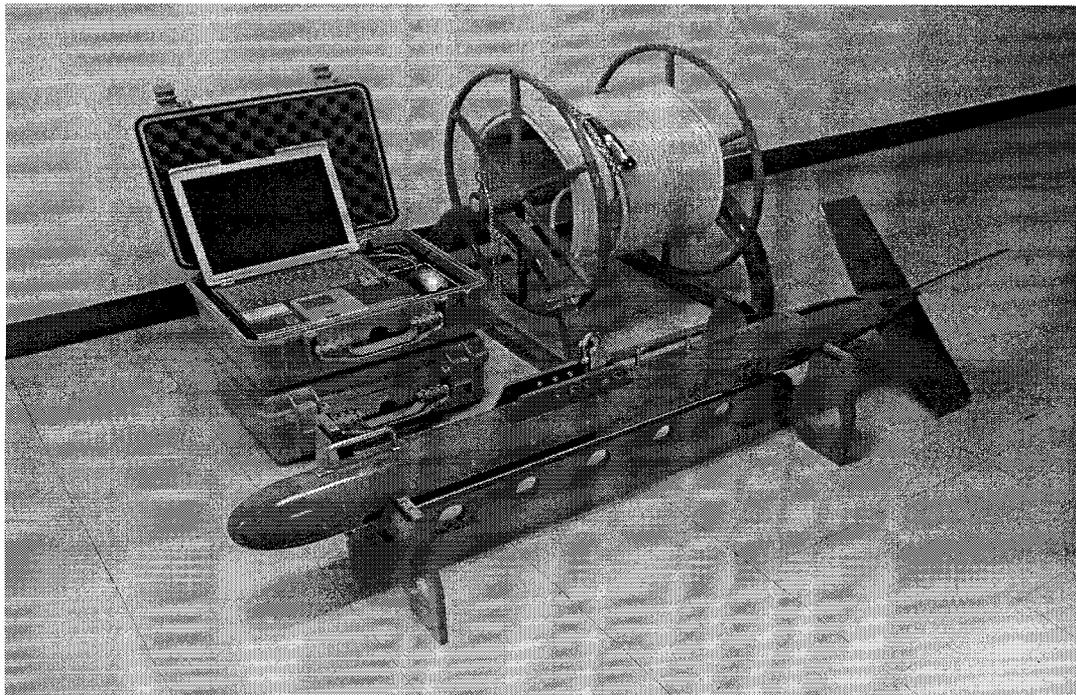


그림 2. 어초 시설상태 조사에 사용된 Side Scan Sonar (SS-100).

Fig. 2. Side Scan Sonar (SS-100) used to the observation of artificial reefs.

표 1. 어초 시설상태 조사에 사용된 Side Scan Sonar (SS-100)의 사양
 Table 1. Specifications of Side Scan Sonar (SS-100) used to the survey

사 양 명	규 격
길이 x 몸통직경 (Length x Diameter)	1450 x 120 mm
공기중 무게 (Weight in air)	27 kg
발신 주파수 (Output Frequency)	400 kHz
수직 빔폭 (Vertical Beam Width)	50°
수평 빔폭 (Horizontal Beam Width)	0.5°
펄스 폭 (Pulse Length)	20 ~ 200 μ s
해상도 (Resolution)	7 cm (max.)
펄스 간격 (Pulse Period)	100 ~ 400 ms
스캔 폭 (Swath Range)	30 ~ 800 m
최대 출력 (Maximum Output Power)	1200 W
최적 견인고도 (Optimum Altitude)	15 m
운용수심 (Water Depth)	100 m (~ 200 m)
견인속도 (Towing Speed)	6 knots (max.)

하여 어초 시설 후 매몰 등을 최소화하기 위해 탄성파에 의한 지층조사를 실시하였다.

탄성파에 의한 해저지층 탐색은 통영해역바다목장 면적 20 km² 내에 면적 중 어초 시설 예정지 축도와 달아공원 사이, 만지도와 연대도 남측지역 등 2개소 (1×1 km)와 사각어초가 시설된 부도 남측 1개소를 선정하여 Core Sample로 시료를 채취하여 퇴적물의 분포형상, 지층, 저질의 전단강도 등을 조사하였다(그림 3, 4, 5). 단면도는 조사구역 내의 동서방향, 남북방향에 대해 층별 퇴적물로 나타냈다. 탄성파에 의한 탐사는 미국 Datasonics사의 Chirp Acoustic Profiler (CAP-6000W)의 해저지층탐사기를 이용하여 실시하였으며, 주상시료 채취를 위해 중력시추기(gravity corer)를 사용하여 시료를 채취하였다. 현장에서 채취한 주상시료는 실험실로 옮긴 후 코어절단기를 이용하여 반으로 절개하여 분석을 실시하였다. 분석은 평균입도, 퇴적물 유형 등 퇴적물의 조직과 전단응력을 측정하였다.

가. 탄성파탐사

본 조사에 사용된 해저지층탐사기는 주파수대가 고주파수대역(2~7 kHz)으로 투과력은 작으나(수십 m) 분해능이 우수한(수십 cm) 음원을 사용하기 때문에 정밀음파탐사가

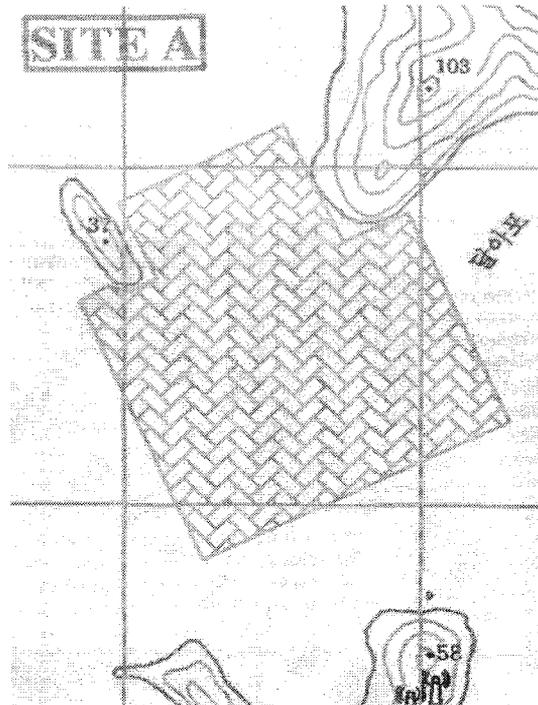


그림 3. 지층탐사기에 의한 지층탐사 지역(지역 A).

Fig. 3. Subbottom survey area by chirp profiler (Site A).

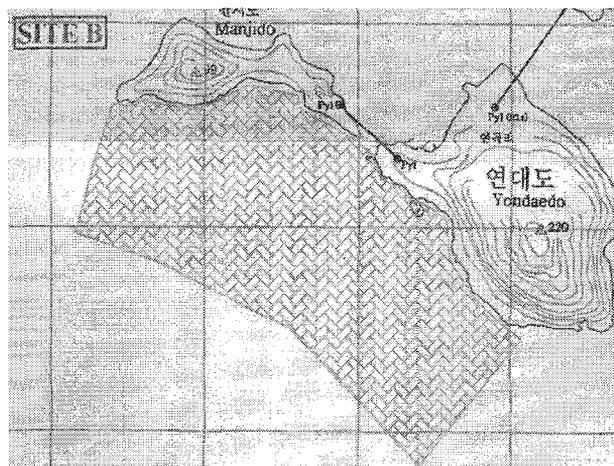


그림 4. 지층탐사기에 의한 지층탐사 지역(지역 B).

Fig. 4. Subbottom survey area by chirp profiler (Site B).

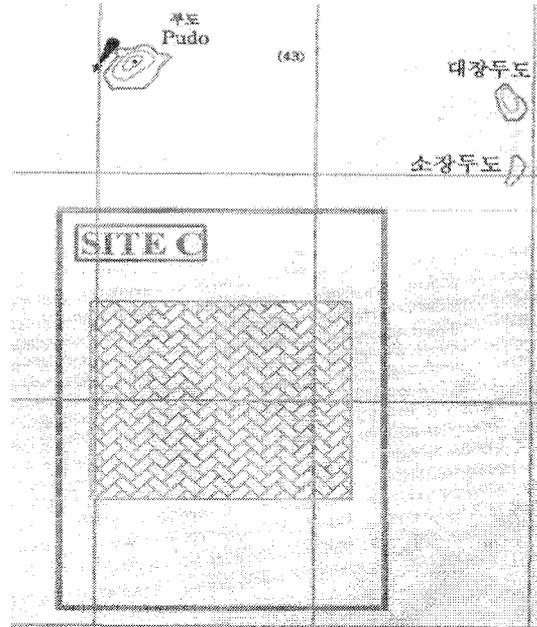


그림 5. 지층탐사기에 의한 지층탐사 지역(지역 C).

Fig. 5. Subbottom survey area by chirp profiler (Site C).

가능하다. 일반적으로 탄성파의 분해도는 파장의 1/4 정도인데 주로 3.5 kHz(퇴적층내에서의 음파전달속도를 1,500 m/sec로 가정하면 파장은 42 cm)를 사용하기 때문에 분해능은 약 10 cm 정도로 정밀탄성파 층서 및 퇴적층 분류 등의 연구에 매우 적합하다. 고해상도 탄성파 탐사에 의해 얻어진 반사파의 음향학적 특성은 해저면(seafloor)과 그 하부의 심층(subbottom)에서 반사되어 오는 반사면으로 구분되며 반사파의 명확성, 측면연속성, 형태, 해저지형 등 다양한 요소를 고려하여 탄성파의 facies를 구분하게 되며 자료를 해석하게 된다. 본 조사에서도 이 자료를 이용하여 퇴적층의 분포특성 및 채취된 시추퇴적물의 조직 등에 대한 해석을 실시하였다.

해저지층탐사기의 장비구성은 크게 네 부분으로 나눌 수 있다(표 2). 신호를 제어하는 부분(DSP-602 transceiver)과 제어된 신호를 보내고 받는 부분(TTV-190 Tow Vehicle) 그리고 획득된 신호를 처리(DSP-601 Digital Signal Processor)하고 보여주는 부분(DSP-603 Display)으로 구성되어있다(그림 6, 7, 8). 자료획득은 현장에서 최적의 자료가 얻어질 수 있도록 이득(gain)과 같은 다양한 조건을 변화시키면서 취득하였다. 획득된 자료는 MO-Disk (Magnetic Optical-Disk)에 실시간으로 저장하여 지층분석을 위한 실험실 분석시 재생(playback) 및 출력(thermal printer, EPC-9800)에 사용하였다.

표 2. 해저지층탐사기의 제원

Table 2. Specifications of Chirp Subbottom Profiler system

모델	Chirp Subbottom Profiler (CAP-6000W)
제작사	Datasonics
Digital Signal Processor (DSP-601)	Intel 40486 processor 16 bit A/D converter SISI MO-Disk Driver
Transceiver (DSP-602)	Transmit rate : 4 pings/sec. maximum; user-set Transmit pulse length : 5msec. to 50 msec Programmable gain : 0 - 90 db in 6 db increments
Display (DSP-60)	17" Monitor
Tow Vehicle (TTV-190)	Frequency : 2 - 7 kHz AT-471 Transducer AT-100R8T linear Hydrophone

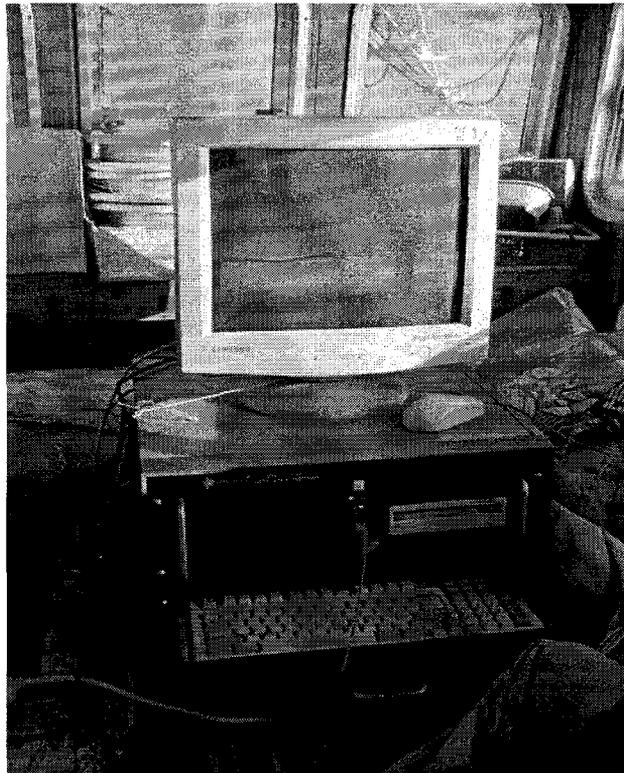
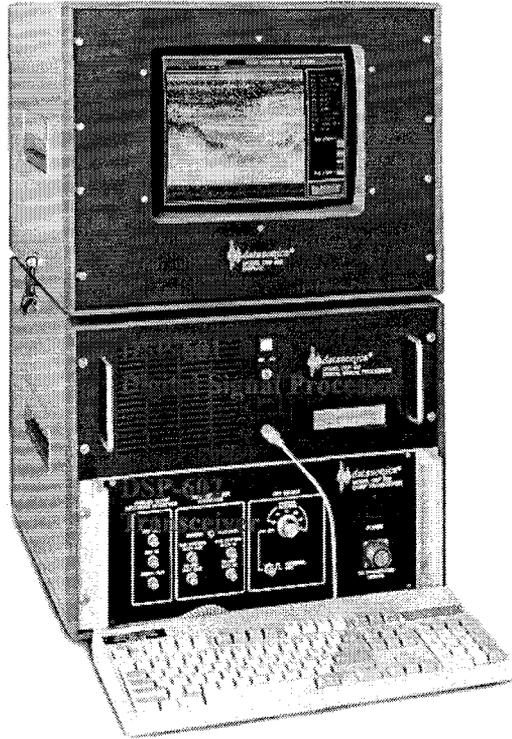


그림 6. 지층탐사기 본체(상), 구성품(하).

Fig. 6. Main body (the upper) and its components (the lower) of Chirp Subbottom Profiler.



그림 7. 지층탐사기의 Tow Vehicle.

Fig. 7. Tow Vehicle of Chirp Subbottom Profiler.

나. 주상시료채취

주상시료채취에 사용된 중력시추기(그림 9, 10)는 전체 시추기 무게가 약 170 kg정도이며 barrel의 길이는 2 m, 시료회수용 PVC파이프(core liner)는 내부지름이 75 mm인 것을 사용하였다. 시료채취시 중력시추기가 넘어지는 것을 방지하기 수심을 고려하여 현장에서 적정하게 자유낙하 시점을 조절하였다. 회수된 시료는 밀봉하여 실험실 분석을 위해 운반되었다(그림 11).

다. 위치정보획득

일반적으로 해양에서 수행되는 작업에서 사업목적에 부합하는 정확한 위치정보는 필수적이다. 본 조사에는 관측자료의 위치정보획득을 위해 beacon형태의 DGPS (Differential Global Positioning System) 수신기(GBX-PRO, CSI)를 이용하였다(표 3, 그림 12). 수신기로부터 획득된 위치정보로 부터 탄성파탐사의 관측선과 시료채취정점의 정확한 위치 값을 획득할 수 있었다. 또한 아니라 관측선에 대한 계획, 실측, 자료편집, 자료출력에 널리 사용되는 프로그램 중의 하나인 Hypack MAX(그림 13) 소프트웨어를 이용하였다. 이 소프트웨어는 정확한 관측선 항해에 이용되었으며 탄성파 자료상의 이상체 위치 등을 기록하였다.

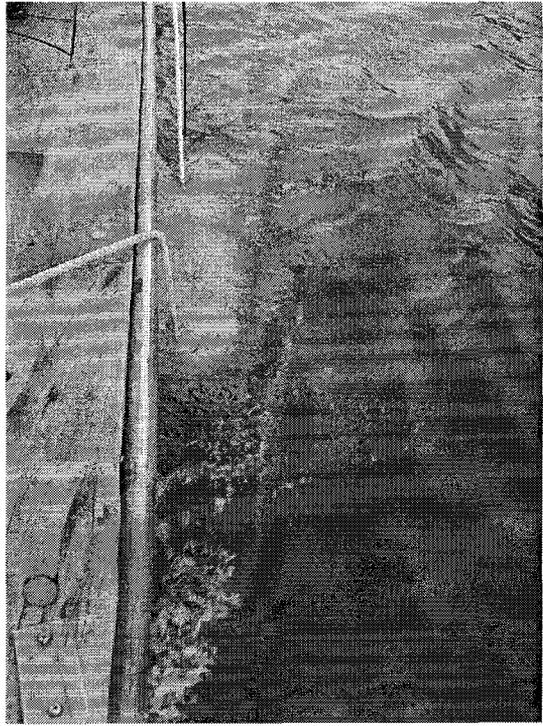
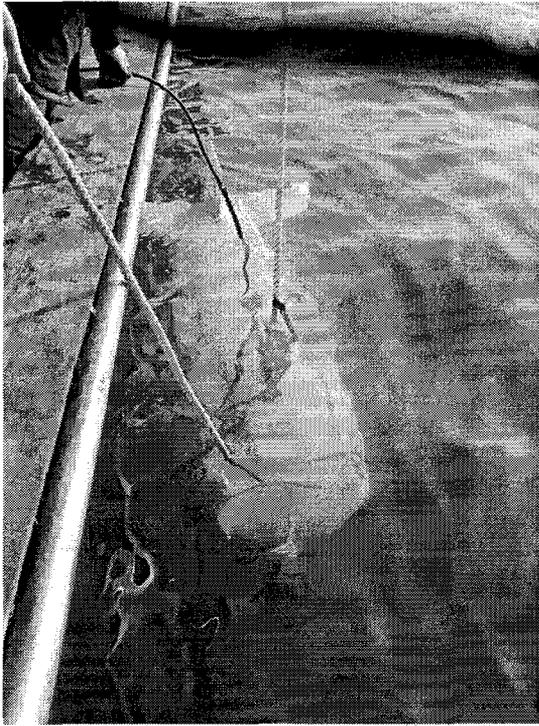
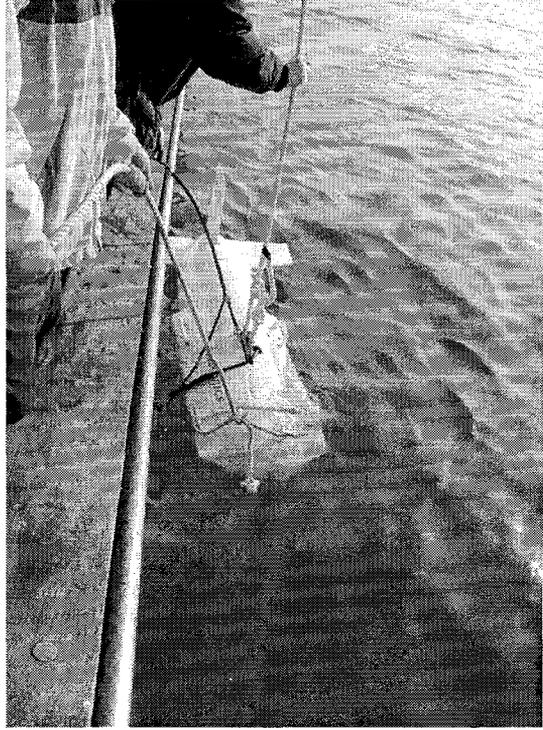
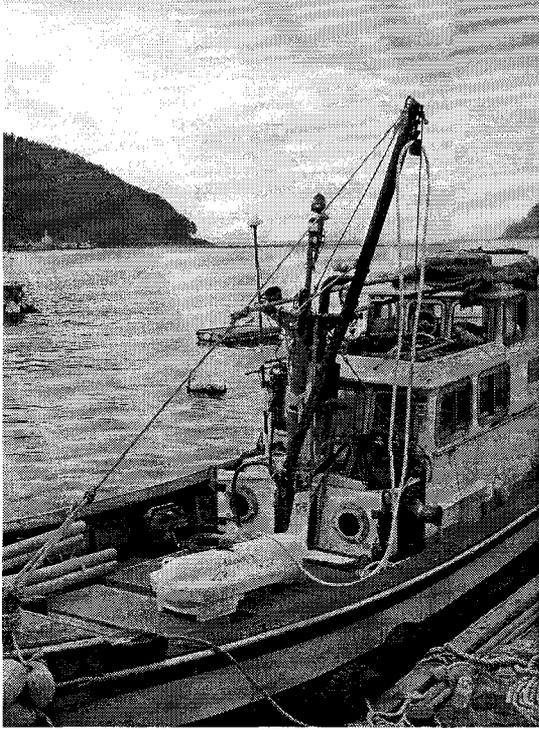


그림 8. 해저지층탐사기 Tow Vehicle의 운용광경.

Fig. 8. Operating view of tow vehicle of Chirp Subbottom Profiler.

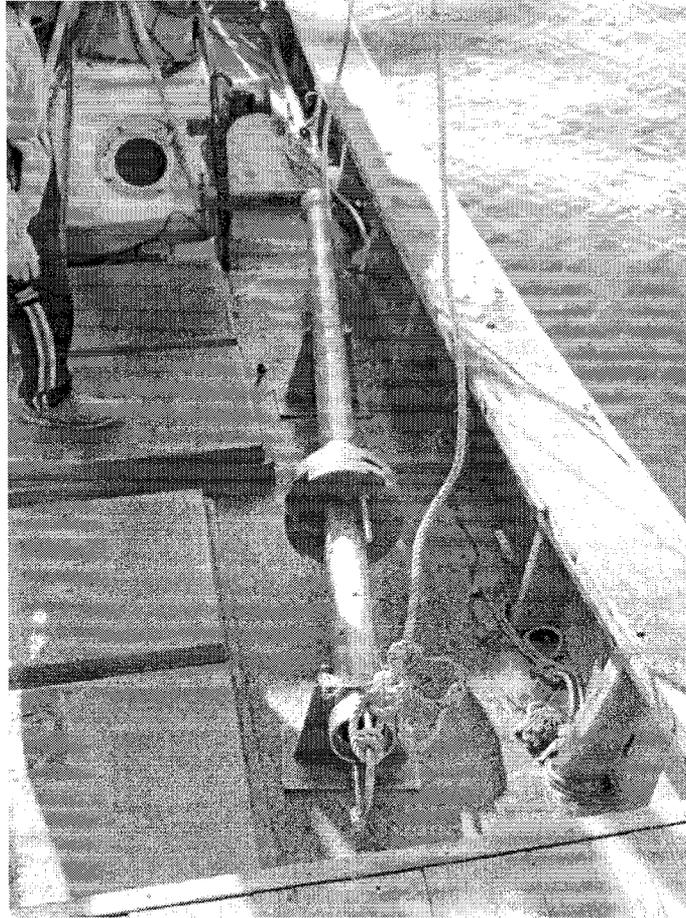


그림 9. 주상시료를 채취하는데 사용된 중력시추기.

Fig. 9. Gravity corer used in collecting core samples.

라. 실험실 분석

채취한 코어는 실험실로 옮긴 후 코어절단기를 이용하여 반으로 절개하여 분석을 실시하였다. 분석은 퇴적물의 조직(평균입도, 퇴적물 유형 등)과 전단응력 등을 측정하였다. 퇴적물의 조직은 Ingram 및 Galehouse (1971)의 방법에 따라 조립질 부분은 체질분석을 실시하고 세립질부는 피펫방법과 퇴적물입도측정기(Model: Sedigraph 5100)를 병행하여 실시하였다. 자료는 Folk and Ward (1957) 및 Folk (1968)의 모멘트 방법에 따라 조직값을 구하였다.

실험방법으로는 저질시료 약 30g을 취하여 증류수로 용해성 염분을 제거한 후, 10%의

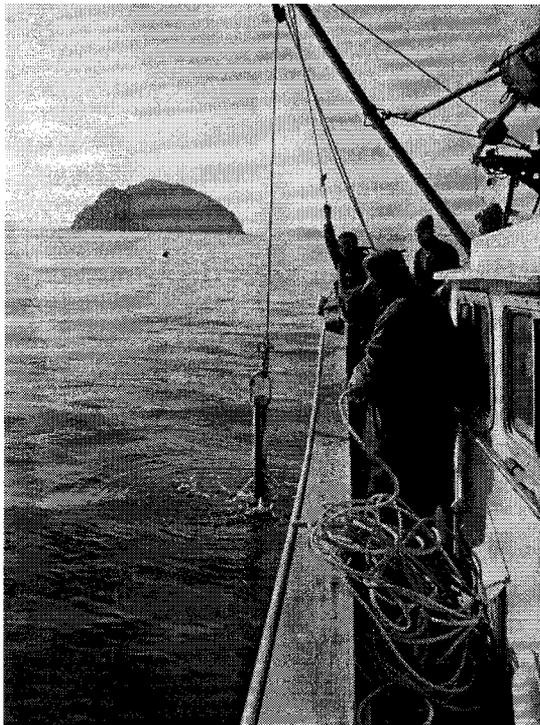
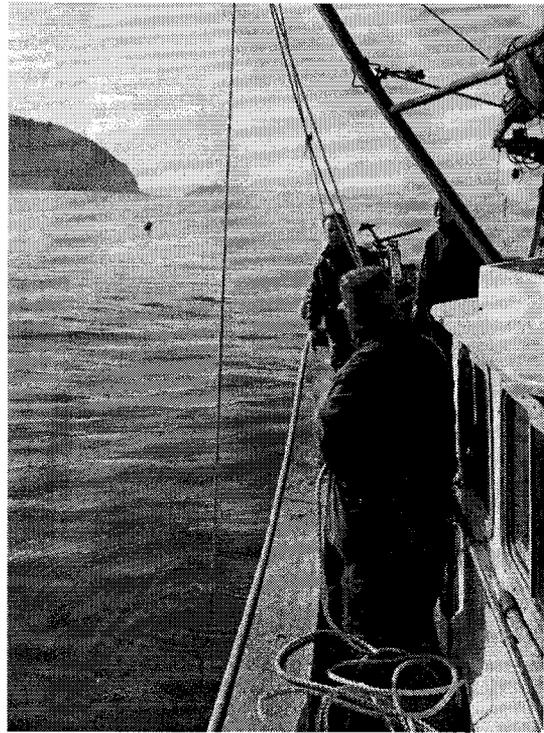


그림 10. 주상채니기로 시료를 채취하는 장면.

Fig. 10. Views of collecting core samples by gravity corer.

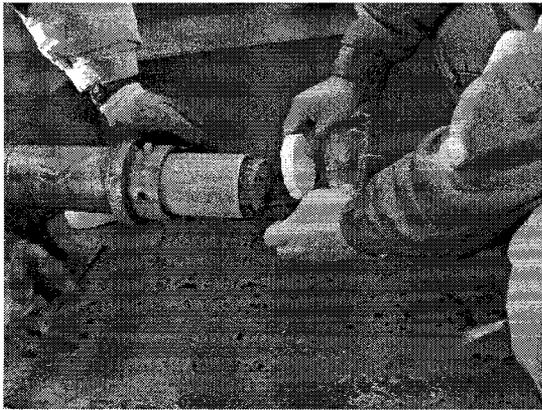
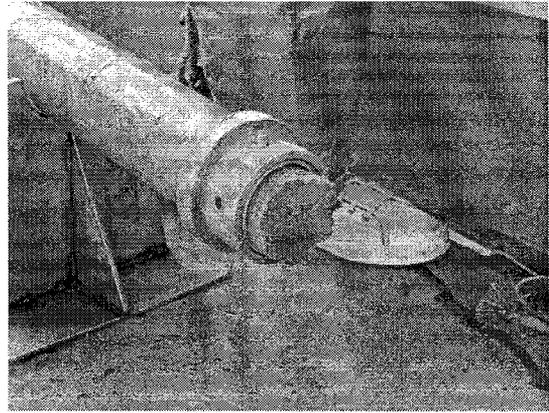
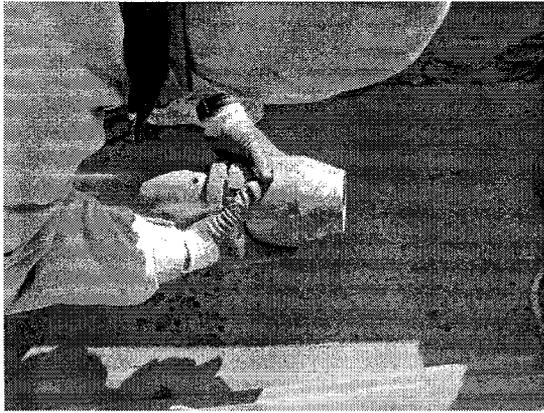
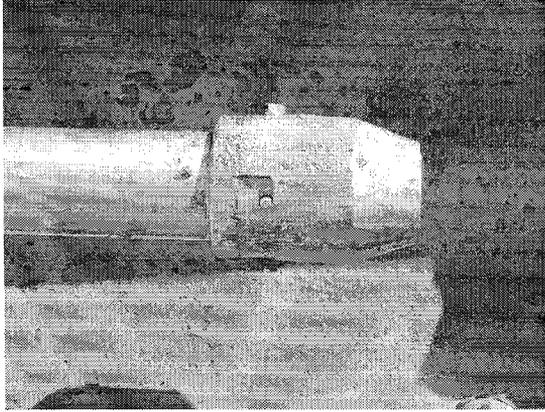


그림 11. 회수된 중력시추기로부터 주상시료를 획득하는 과정.

Fig. 11. Views preparing samples for analysis of their compositions after collecting core samples by gravity corer.

표 3. Beacon 수신기의 제원

Table 3. Specification of transducer of Beacon

모델	GBX-PRO
제 작 사	CSI, CANADA
용 도	항해 관측용 D.G.P.S
사 양	<p>12-Channel L1 C/A Code, carrier smoothed</p> <p>Horizontal Diff. Accuracy : < 1 m (95% confidence)</p> <p>Differential Input : RTCM SC-104</p> <p>Input/Output Messages : NMEA-0183</p> <p>Position Update Rate : up to 5 Hz</p> <p>Raw Data Output Rate : up to 2 Hz (code and carrier)</p> <p>Frequency Range : 283.5 to 325.0 kHz</p> <p>Channel Spacing : 500 Hz</p> <p>MSK Bit Rate : 50, 100, and 200 bps</p> <p>Interface Level : RS-232C</p> <p>Baud Rates : 2400, 4800, 9600</p>

과산화수소(H₂O₂)로 유기물을 제거하고, 10% 염산을 첨가하여 탄산염을 제거한 후, 각종 염과 침전물을 여러차례 증류수로 세척하였다. 세척된 시료는 4 φ(0.063 mm)체로 습식 체질을 하였다. 모래크기 이상인 조립질 부분(4 φ, 0.063 mm)은 건조시킨 후, 로탭요동기(Ro-tap Sieve Shaker)를 사용하여 1 φ 간격으로 건식체질을 한 후에 입도별 중량백분비를 구하였다. 세립질부 시료는 피펫방법 및 퇴적물입도측정기를 병행하여 실시하였다. 피펫방법은 시료에 확산제(Calgon: Sodium Hexametaphosphate)를 첨가하여 확산이 잘 되도록 충분히 저은 후, 시간별로 피펫팅을 실시하여 건조기(110℃, 24시간 이상) 및 데시케이터를 사용하여 건조시키고 정밀한 전자저울을 사용하여 무게를 달아 분석을 실시하였다.

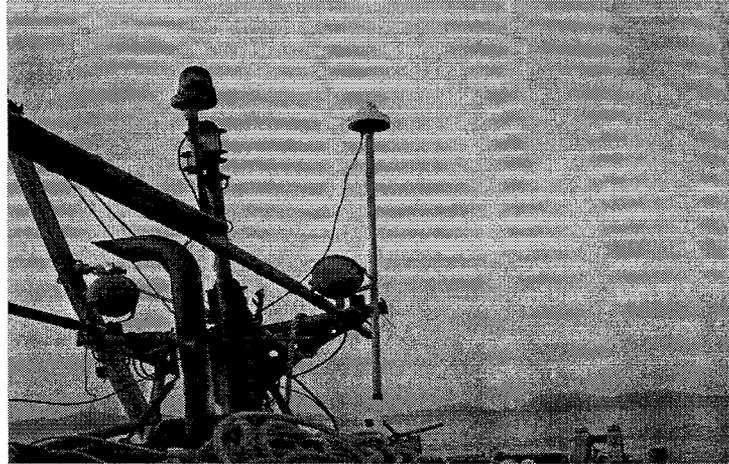


그림 12. DGPS 수신기(GBX-PRO) 사진(상) 및 수신기 안테나(하).
 Fig. 12. Main body and antenna of GBX-PRO, Differential Global Positioning System.

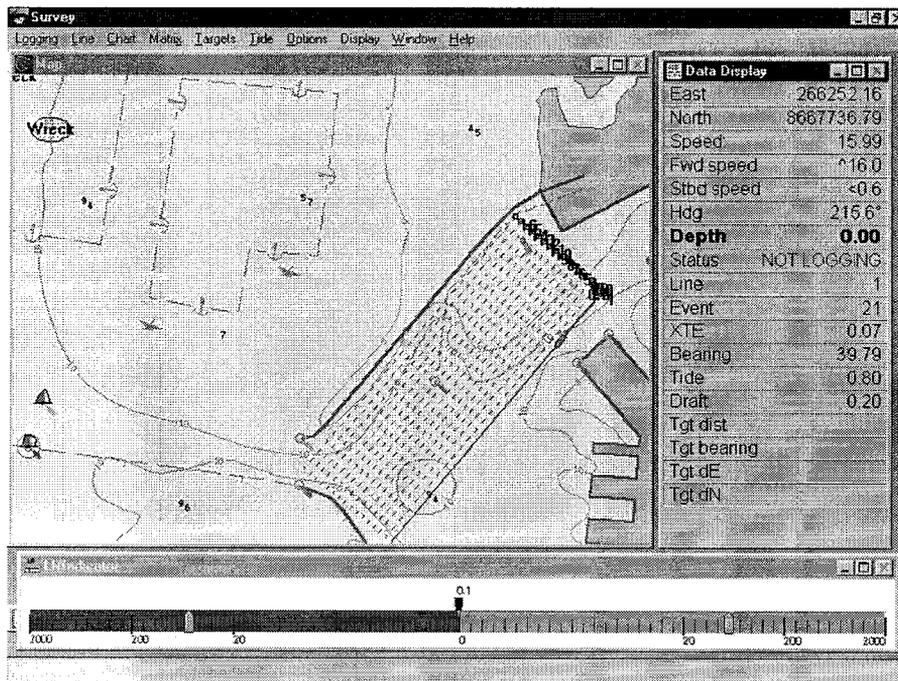


그림 13. Hypack MAX의 소프트웨어 화면.
 Fig. 13. Display view by software of Hypack MAX.

퇴적물입도측정기는 확산된 시료를 적당량(약 50 ml) 취하여 분석을 실시하였다. 비배수전단응력(undrained shear strength)은 흔히 hand vane을 사용하여 측정하는 경우가 많은데, 이는 일정한 강도로 지속적으로 vane을 회전시켜야 하기 때문에 실제로는 오차가 많다. 이러한 오차를 최소로 하기 위해서 자동응력측정장치(Motorized shear vane, Geotest Model 23500)를 사용하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$\text{전단응력}(S) = \frac{M}{K}$$

여기서 M= 시료가 받는 Torque

K= vane의 크기 및 형태에 의해 결정되는 상수

$$(K = \pi D^2 (H/2 + D/6)),$$

여기서 D= vane의 직경,

H= vane의 높이

3. 인공어초 어장의 기능 향상 요인조사

바다목장화 내에 어초가 시설된 장소 중 산양면 곤리도의 한변이 1 m인 소형사각어초어장(1978년 시설, 36 ha, 900개), 연대도(1980년 시설, 80 ha, 1,290개)와, 곤리도(1987년 시설, 208 ha, 1300개)의 한변이 2 m인 사각어초어장에 대하여 페그몰 걸림 등 인공어초 기능 저하요인에 대해서도 조사를 실시하였다. 이와 함께 목장조성의 효과를 높이기 위해서는 어초의 배치형태 즉, 분산하여 시설하는 것이 좋은가, 혹은 집적하여 시설하는 것이 좋은가를 구명코자 바다목장 조성예정지 내에 시설된 기존 어초의 집적 및 분산 등 시설형태 등을 조사하였다. 조사는 2003년 2월 9일에 실시하였다.

조사는 기존 어초에 대해 잠수관찰, Side Scan Sonar 등에 의해 사전조사를 실시한 후 어획조사를 통하여 적정시설형태를 구하였다. 조사 항목은 어초에서의 어류의 위집상태, 어획량, 어종수, 어획어종의 어초성 분류 등이며, 어초에서 어류 위집 상태조사는 전문 잠수부에 의해 실시하였다. 그리고 어획조사는 삼중자망(길이 70 m, 높이 2 m)를 사용하였으며, 사용 폭수는 1회에 3폭을 사용하였다. 어구 설치는 일몰 시에 투망하고 일출 시에 양망하였고, 어구 침지 시간은 13시간 정도였다. 어획량은 폭당 어획량으로 환산하였고, 어종수는 사용 폭수에 대하여 모두 조사하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 통영해역 바다 목장화 조성지 주변에 시설된 어초의 시설 위치 파악

어류는 성장 단계, 계절 등에 따라 적합한 서식환경으로 이동한다. 통영 해역에 있어서도 예외는 아니며, 많은 어류는 봄부터 가을까지 바다목장 해역을 중심으로 서식하다가 수온이 낮아짐에 따라 매물도 등 수심이 깊은 곳으로 이동(회유)한다. 어업인들에 의하면, 이동의 경향은 해마다 다르나 대개는 어초와 자연초 등이 있는 곳에 머무르다가 계절 변화에 따른 수온 등의 환경조건에 따라 깊은 곳으로 이동하는 것으로 알려져 있다. 따라서 어초는 어류의 서식환경을 개선해 주는 하나의 중요한 수단으로서 자원을 증식하는데 큰 역할을 하고 있다고 할 수 있다. 자원조성 과정에서 인공어초의 시설을 통한 어업 생산량을 증강시키고자 할 경우, 내유 자원량이나 기존 어초어장에서의 조업 자료를 토대로 어초어장의 증산량을 계산할 수 있다. 이 경우 목표로 하는 어업생산량을 달성함에 있어서 이미 시설된 어초만으로 가능한가 혹은 새로운 어초의 시설이 필요한가를 파악해야 한다. 따라서 바다목장화 사업을 수행함에 있어 기존 어초의 시설 현황 파악은 중요한 의미를 갖는 것이다.

표 4는 통영해역 바다목장 지역(20 km²)에 시설된 어초의 종류 및 시설량을 나타낸 것이다. 먼저 바다 목장 20 km² 지역내에 시설된 어초의 량은 752 ha이며, 어초의 종류는 소형 사각형어초(1×1×1 m), 사각형어초(2×2×2 m), 반구형어초(ø2.0×1.3 m), 강제어초(14×14×9m) 등 4종이다. 시설장소를 보면, 반구형어초 등 패·조류용 어초는 20개소(266 ha), 사각형어초 및 강제어초 등 어류용 어초는 9개소(486 ha)이다. 시설년도는 어류용 어초의 경우 1978년, 패·조류용 어초의 경우 1993년부터 각각 시설하였다. 연대별 시설량을 보면, 어류용 어초의 경우 1970년대 36 ha(900개), 1980년대 288 ha(2,590개), 1990년대 85 ha(823개)로 1990년대 이후 어류용 어초의 시설은 감소하고 대신 패·조류를 대상으로 하는 어초가 많이 시설되고 있다(그림 14).

어초 시설상태와 관련해서는 어초시설높이, 시설환산면적, 시설상태, 시설위치 좌표(WGS-84) 등을 조사하였으며, 그 결과는 표 3-4-5에 나타났다. 동조사 결과 중, 어초시설높이, 환산면적, 시설상태에 대해서는 조사된 물량만을 나타냈기 때문에 실제 시설상황을 모두 기술한 것은 아니다. 위치표시는 어초 단지 중 1개 단지만 대표점을 나타냈으며, 각 단지별 위치는 별도로 주어졌다. 표 3-4-4 중에서 미확인지역(1개소, 산양면 연곡리)은 어초가 시설된 곳에 어장 시설물이 설치되어 있어 Side Scan Sonar에 의한 어초 탐색이 어려웠고, 더욱이 인명사고 등의 우려가 있어 잠수부에 의한 조사도 수행하지 못했다. 그러나 동 장소에 시설된 어초는 1993년 이후에 조성된 것으로 지역 어업인들에 의하면, 시설이 되어 있는 것으로 확인되었다. 따라서 동 조사 결과로 미루어 볼 때, 통영바다목장

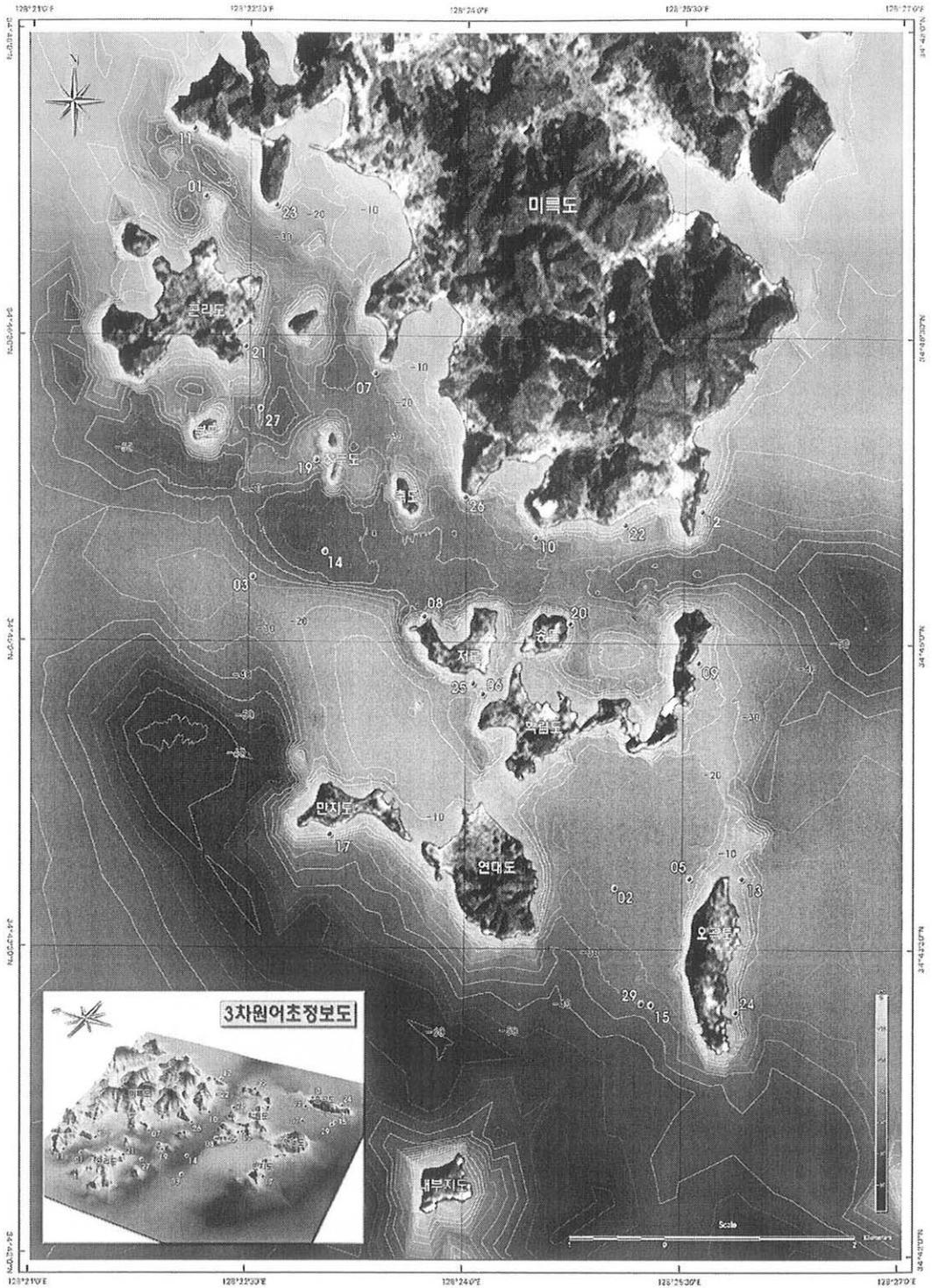


그림 14. 통영바다목장 내에 시설된 인공어초 위치도. 위치도에 나타난 번호는 어초 시설 위치를 나타냄.

Fig. 14. Location of artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.

표 4. 바다목장화조성지(20 km²)에 시설된 어초 종류 및 수량('78~'02)

Table 4. The type and scale of reefs installed at Tongyeong marine ranching area (20 km²) in the province of Kyongnam, Korea ('78~'02)

어초 위치 번호	위치	시설 년도	어초 종류	시설면적 (ha)	어초수량 (척, 개)	비고
1	통영 산양 곤리도	'78	사각형	36	900	
2	" 연대도	'80	"	80	1,290	
3	" 곤리도	'87	"	208	1,300	
4	" 연곡	'93	반구형	20	330	*미 확인
5	"	"	사각형	20	330	
6	" 저림	'94	반구형	16	264	
7	" 연화	'95	"	10	165	
8	" 저림	"	"	11	182	
9	" 학림	'96	"	16	264	
10	" 달아	"	"	14	231	
11	" 삼덕	'97	사각+반구	16	182	
12	" 마동	"	"	16	182	
13	" 만지	"	"	16	182	
14	" 대장두도	'98	사각형	32	200	
15	" 오곡도	"	"	16	100	
16	" 저림	"	사각+반구	13	182	
17	" 저림 만지	"	"	16	182	
18	" 저림 학림	'99	"	17	193	
19	" 곤리도	"	사각형	32	200	
20	" 저림 송도	'00	사각+반구	14	153	
21	" 곤리도	"	"	8	90	
22	" 미남 달아	"	"	7	80	
23	" 삼덕 당포	"	"	8	91	
24	" 연곡 오곡	"	"	6	69	
25	" 저림	"	"	4	46	
26	" 미남 달아	"	"	7	80	
27	" 연화 중화	'01	강제형	45	2	
28	" 저림 학림	"	사각+반구	16	182	
29	" 오곡도	'01	사각	32	200	
29개소	총계	'82~'01	3종	752	7,852	

* 미 확인은 어초 시설지 내에 양식시설물이 있어 확인, 촬영을 못한 하지 것을 의미함.

표 5. 바다목장화조성지(20 km²)에 시설된 어초의 시설상태('78~'02)

Table 5. The configuration of artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area (20 km²) in the province of Kyongnam, Korea ('78~'02)

시설 위치 번호	시설 년도	어초 종류	시설 수심 (m)	시설 수량 (척, 개)	시설 높이 (m)	시설환산 면적(m ²)	시설상태	시설 위치 좌표 (WGS-84)
1	'78	사각형	18~ 50	900	1~2	84,000	평면분산(620개), 상적 (2개소, 130개)	34°47.364 ' 128° 22.041 '
2	'80	"	30~ 32	1,290	1~3	3,630	평면집중(2개소, 310 개), 평면분산 (110개), 소형상적(1개소, 40 개), 대형상적(3개소, 620개)	34°43.883 ' 128°24.910 '
3	'87	"	28~ 50	1,300	2~5	21,200	집중산적(3개소, 600 개), 분산상적(8개소, 250개)	34°45.363 ' 128°22.442 '
4	'93	반구형	-	330	-	미 확인	-	-
5	"	사각형	28	330	2	248	평면분산(62개)	34°44.035 ' 128°25.419 '
6	'94	반구형	10	264	1.3	600	평면분산(2개소, 152개)	34°44.983 ' 128°24.720 '
7	'95	"	10	165	1.3	500	평면병렬(42개), 개별분산(5개)	34°47.364 ' 128°22.041 '
8	"	"	15	182	1.3	2,400	평면분산(100개)	34°44.5207 ' 128°23.534 '
9	'96	"	8~ 11	264	1~2	4,000	평면분산(212개)	34°45.066 ' 128°25.468 '
10	"	"	10~ 15	231	1~2	3,500	평면분산(105개)	34°45.702 ' 128°24.347 '
11	'97	사각+ 반구	6~9	182	1~2	10,000	평면병렬(반구형 104, 사각형 44)	34°47.696 ' 128°21.980 '
12	"	"	9~12	182	1~2	670	평면병렬(반구형 104, 사각형 64)	34°45.835 ' 128°25.496 '

※ 어초 시설상태 조사 수량은 조사된 물량만 나타냄. 그리고 시설좌표는 어초 단지 중 1개 단지의 위치를 나타내며, 어초의 단지별 좌표는 별도로 주어짐.

표 5. 계속

Table 5. Continued

시설 위치 번호	시설 년도	어초 종류	시설 수심 (m)	시설 수량 (척, 개)	시설 높이 (m)	시설환산 면적 (m ²)	시설상태	시설 위치 좌표 (WGS-84)
13	'98	사각+ 반구	6~8	182	1~2	4,200	평면병렬(반구형 60, 사각형 30개)	34°44.035 ' 128°25.809 '
14	'98	사각형	32	200	2~5	300	집중상적(2개소, 200개)	34°45.630 ' 128°22.891 '
15	"	"	33	100	2~5	300	집중상적(100개)	34°43.417 ' 128°25.158 '
16	"	사각+ 반구	15	182	1~2	2,500	평면분산(반구형 121개, 사각형 35개)	34°44.720' 128°24.656'
17	"	"	8~10	182	1	1,800	평면집중(반구형 40개, 사각형 15개)	34°44.246 ' 128°22.934 '
18	'99	"	15	193	1~2	1,500	평면병렬(반구형 120, 사각형 41)	34°44.942' 128° 24.860'
19	'99	사각형	32	200	2~5	600	집중상적(2개소 200개)	34°46.080 ' 128°22.830 '
20	'00	사각+ 반구	6~8	153	1~2	2,200	평면병렬(반구형 80개, 사각형 26개)	34°45.257 ' 128°24.585 '
21	"	"	6~9	91	"	1,600	평면병렬(반구형 47개, 사각형 44개)	34°46.634 ' 128°22.342 '
22	"	"	8~12	160	"	3,000	평면병렬(반구형 78개, 사각형 82개)	34°47.364 ' 128°22.041 '
23	"	"	6~8	91	"	2,000	평면병렬(반구형 60개, 사각형 20개)	34°47.327 ' 128°22.550 '
24	"	"	6~7	69	"	2,000	평면분산(반구형 38개, 사각형 10개)	34°43.382 ' 128°25.742 '
25	"	"	8~10	46	"	600	평면병렬(반구형 26개, 사각형 20개)	34°44.988 ' 128°23.921 '
26	"	"	9~12	80	"	1,000	평면병렬(반구형 60개, 사각형 20개)	34°45.900 ' 128°23.862 '

※ 어초 시설상태 조사 수량은 조사된 몰량만 나타냄. 그리고 시설좌표는 어초 단지 중 1개 단지의 위치를 나타내며, 어초의 단지별 좌표는 별도로 주어짐.

표 5. 계속

Table 5. Continued

시설 위치 번호	시설 년도	어초 종류	시설 수심 (m)	시설 수량 (척, 개)	시설 높이 (m)	시설환산 면적 (㎡)	시설상태	시설 위치 좌표 (WGS-84)
27	'01	강재형	27	2	10	200	1단분산 (2개)	34°46.332 ' 128°22.443 '
28	"	사각+ 반구	15	182	1~2	1,500	평면병렬(반구형90, 사각형 30)	34°45.181 ' 128°22.934 '
29	'01	사각	30	200	2~5	700	집중상적(1개소, 200개)	34°43.424 ' 128°25.090 '

※ 어초 시설상태 조사 수량은 조사된 물량만 나타냄. 그리고 시설좌표는 어초 단지 중 1개 단지의 위치를 나타내며, 어초의 단지별 좌표는 별도로 주어짐.

내에 조성된 어초어장 752 ha는 당초 시설면적과 차이가 없는 것으로 확인되었다.

바다목장 내에 시설된 어초 높이 등 시설상태와 관련해서는, 어류용 어초의 경우, 한변이 1 m인 사각어초 (1×1×1 m)는 1~2 m 높이로 분산시설되어 있었고, 한변이 2 m인 사각어초 (2×2×2 m)는 2~5 m 높이로 집중 상적되어 있었다(표 5, 그림 15). 한편 연안의 비교적 얇은 지역에 시설되고 있는 패·조류용 어초는 1단 병렬로 시설되어 있었고, 어초 높이도 1~2 m 정도였다 (그림 16).

2. 바다목장 조성 예정지 내의 어초 시설적지 평가

가. 탄성파탐사

통영바다목장 조성지 내의 어초 시설 예정지역 축도와 달아공원 사이(Site A), 만지도와 연대도 남측(Site B), 그리고 어초가 시설된 부도 남측(Site C) 등 3개소에서 탄성파 탐사자료를 획득하였다. 획득된 탐사자료는 해저면 하부의 강한 반사면의 강도(intensity)와 연속성을 고려하여 퇴적층(unit)를 구분하였고, 탄성파상의 층후는 음파전달속도를 1500 m/s로 가정하여 계산되어졌다.

축도와 달아공원 사이 지역(Site A)은 북서측의 축도, 동측의 달아포, 남측의 저도를 경계로 두고 있으며, 수심이 수 m에서 40 m로 달아포와 저도 사이는 조도수도의 연장선상에 놓인 지역으로 급격한 수심의 변화를 보인다. 탄성파 단면도상의 특징도 내부층리의 발달 없이 축도와 달아포 입구 쪽은 해저면에 음향기반암(acoustic basement)이 노출이

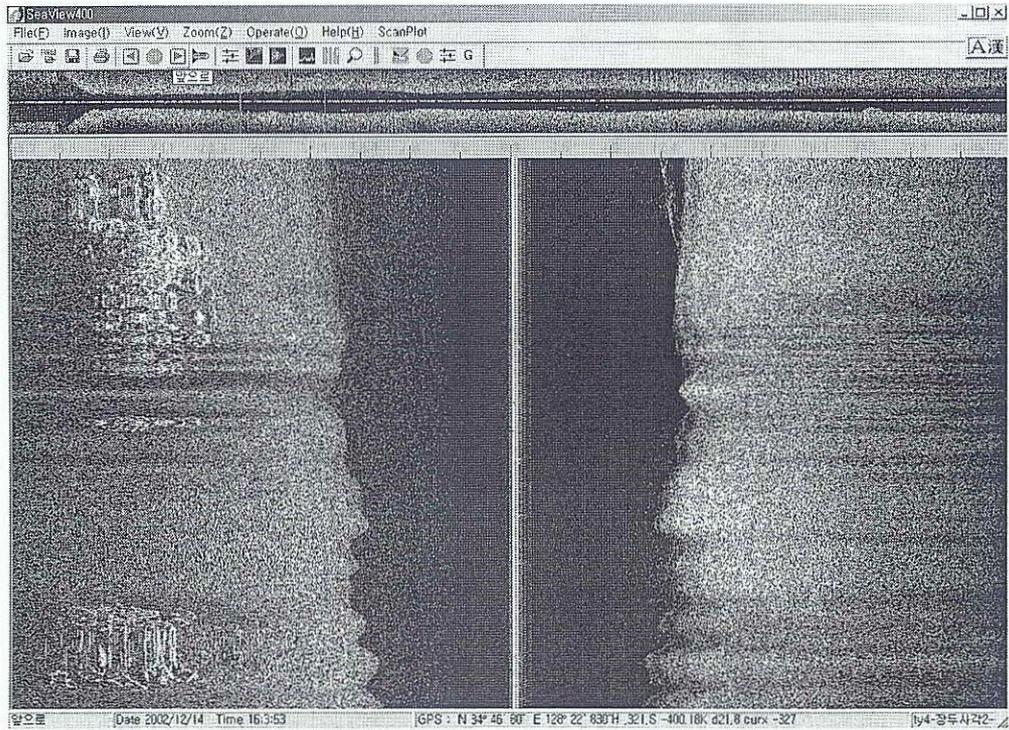


그림 15. 통영바다목장 내에 시설된 사각어초의 형상.

Fig. 15. Configuration of Dice reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.

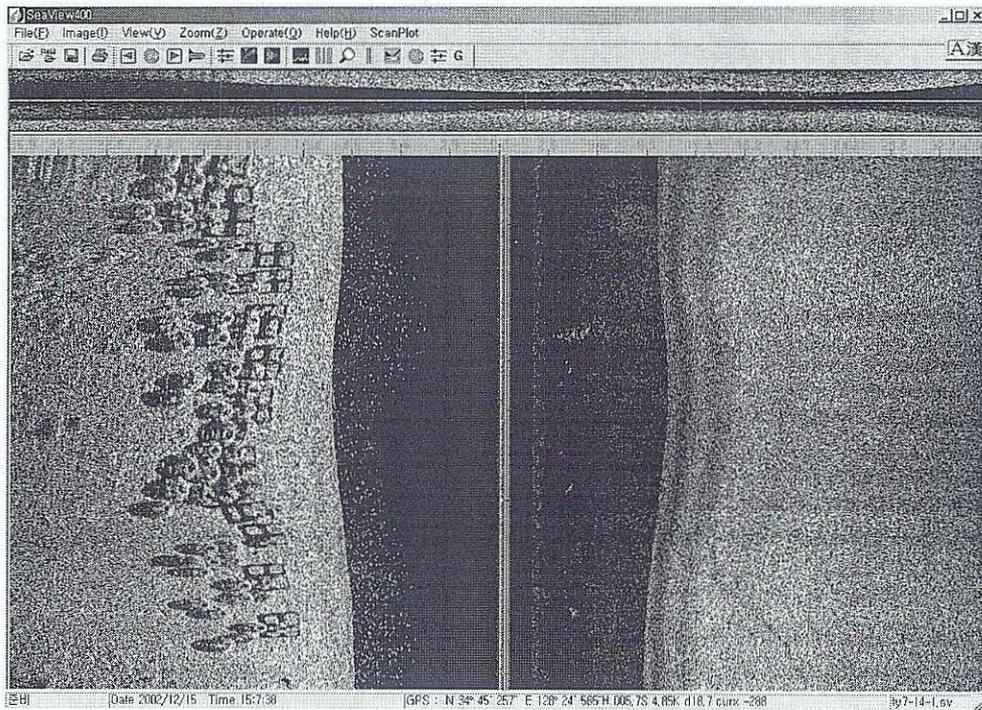


그림 16. 통영바다목장 내에 시설된 사각어초와 반구형어초의 형상.

Fig. 16. Configurations of Dice reefs and Turtle reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.

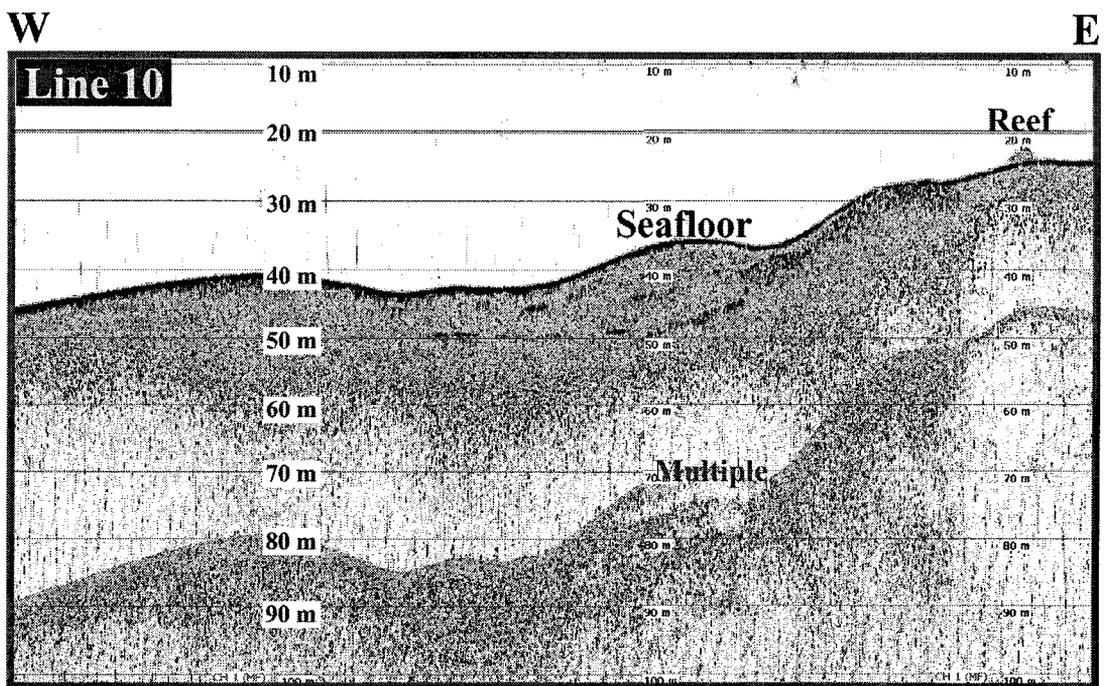
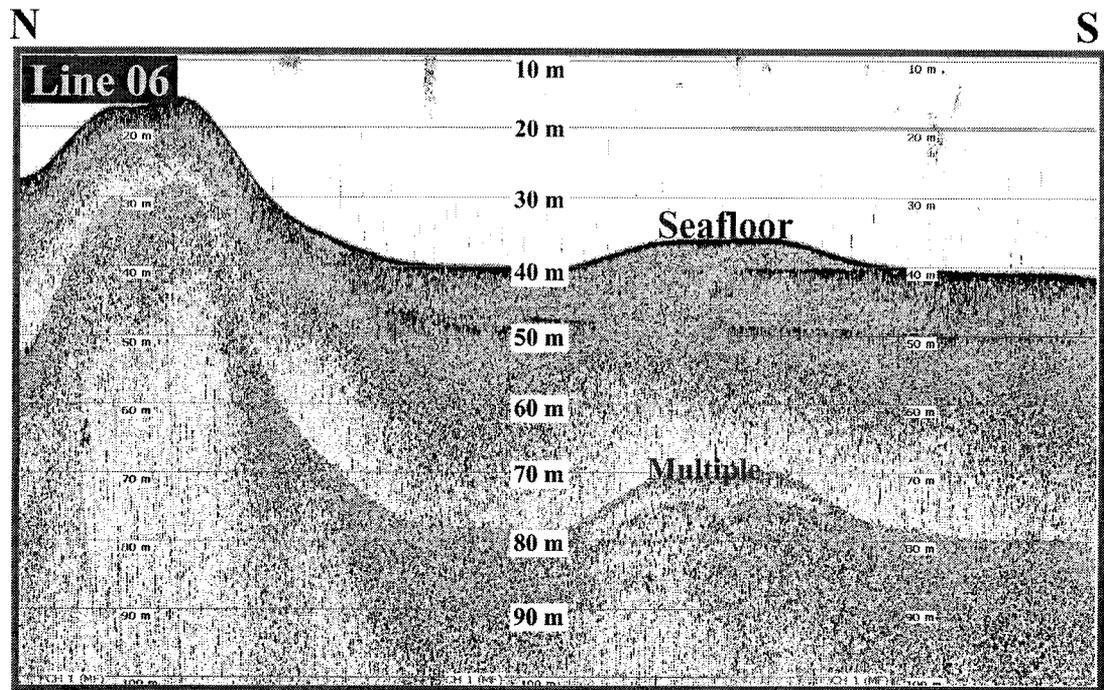


그림 17. 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역 A의 탄성과 단면도. N과 W는 북쪽과 서쪽을 나타냄.

Fig. 17. Acoustic profile of site A situated between Chuk-do and the Dala park in the province of Kyongnam, Korea. N and W indicate the north and west of site A.

뚜렷하게 보이며, 조사지역 남측으로 갈수록 내부 반사면의 형태가 빈약하긴 하지만 10~20 m 전후의 두께를 가지면서 나타난다(그림 17). 이러한 퇴적층의 음향반사 특성은 모래나 자갈을 포함하는 조립퇴적물의 함량이 높은 경우 흔히 나타난다(Damuth, 1980; Pratson and Laine, 1989). 이들 지역에서 주상시료 채취를 위해 네차례에 걸쳐 시도되었지만 양호한 주상시료를 얻을 수 없었다. 그러나 소량이지만 코어캐처(core catcher)에 획득된 상부퇴적물의 대부분이 수 cm 패각(shell) 또는 패각편(shell fragment)을 포함한 조립질퇴적물이 우세한 퇴적상을 볼 수 있었고 이들 시료를 분석하여 자료를 획득하였다(표 6).

만지도와 연대도 남측 지역(Site B)은 이들 2개의 섬의 해안선에서 남서쪽 방향으로 수 m에서 60 m 이상으로 급격한 수심 변화를 나타내고 있다. 탄성과 단면도상의 특징은 Site A지역과 유사한 조립질의 함량이 높은 음향상과 비교적 수심 30~50 m를 전후한 깊이에서 비교적 연속성을 가지는 내부 층리를 보이는 층도 나타났다(그림 18). 표층퇴적물의 특성은 전체적으로 Site A와 유사하며 니질과 사질의 혼합된 형태의 퇴적물에 다량의 패각편이 포함되어 있다. 특히 연대도 남서측의 탄성과 단면상에는 강한 반사특징을 가지는 퇴적층을 볼 수 있는데 이는 고화(consolidation)된 탄성과 특징을 잘 나타내주고 있다. 이러한 특징은 절개된 코어에서 사진(그림 19)에서도 잘 관찰되며 수직적으로 획득된 전단강도(shear strength) 값도 다른 조사지역에 비해 훨씬 높은 값(7.0 - 21 kPa)를 가진다(표 6). 이러한 고화된 퇴적층은 조사지역의 해저지형과 강한 조류(current)에 의한 국부적인 퇴적환경에 기인한 것으로 보인다.

만지도와 연대도 남측 지역(Site B)은 다른 조사지역에 비해 탄성과 단면상에 수주(water column)내에 쌍곡선(hyperbola)형태의 반사특성이 특징적으로 많이 나타나고 있는데 이는 다른 지역에 비해 다양한 크기의 어류의 분포빈도가 높은 것으로 생각된다(그림 18). 특히, 다른 지역에서는 볼 수 없는 기둥(plume)형태의 음향상도 잘 나타나 있는데, 이는 조사기간 중 주변 멸치조업과 관련된 멸치떼와 같은 어류들에 의한 특징인지 아니면 조사지역내의 저층류(bottom current)에 의한 세립퇴적물의 부유(suspending)현상에 의한 것인지는 본 조사 자료만으로는 분석이 어려운 실정이다.

부도 남쪽에 위치한 사각어초 시설지(Site C)는 다른 지역에 비해 수심이 30-40 m로 비교적 수심의 변화폭인 적은 특징을 가지고 있다. 또한 탄성과 단면상의 특징도 30 m이상의 두꺼운 퇴적층으로 분포되어 있고, 이들 두꺼운 퇴적층은 다른 지역에 비해 세립질 퇴적물의 함량이 높게 나타나고 있다(그림 20). 동 지역은 다른 지역에 비해 탄성과 단면도에 인공어초의 영상이 잘 나타나 있으며, 분포 위치에 따라 어초의 규모나 매물정도가 각기 다르게 나타나는 현상을 볼 수 있었다. 한편 Site A, B에 비해 음향기반(acoustic basement)은 나타나지 않았는데 이는 30 m 전후의 두꺼운 퇴적물로 인하여 탄성과 투과심도가 제한되기 때문이라고 판단된다.

표 6. 인공어초 시설 예정지의 저질입도 및 전단강도

Table 6. Grain compositions and its shear strength of vertical sediment collected at the expected area of artificial reef installation by gravity corer

Station No.	Core Depth (cm)	평균 입도 (ϕ)	함량비 (%)				분급도 (ϕ)	퇴적물 유형	Shear Strength (kPa)
			Gravel	Sand	Silt	Clay			
A-1	0	3.63	31.3	27.7	13.3	27.8	4.5	mG	
A-2	0	3.31	16.1	50.0	9.3	24.7	4.25	gmS	
A-3	0	1.99	52.2	26.1	5.8	16.0	3.82	msG	
B-1	0	5.8	12.0	15.6	56.1	16.3	3.4	gsM	
	10	6.58	0.3	9.3	79.4	11.0	1.97	(g)M	7.68
	20	6.76	0.0	2.4	92.9	4.7	1.27	Z	21.00
	30	6.44	0.0	2.5	89.4	8.1	1.32	Z	17.80
	40	6.18	0.0	5.9	86.1	8.0	1.55	Z	4.58
C-1	0								
	10	7.95	0.0	5.0	42.1	52.9	1.9	M	1.71
	20	7.74	0.0	2.5	53.1	44.4	1.63	M	1.01
	30	7.77	0.0	0.6	55.1	44.3	1.52	M	1.49
	40	7.5	0.0	0.5	72.0	27.5	1.22	Z	2.37
	50	7.64	0.0	0.9	60.1	39.0	1.44	M	1.49
	60	7.57	0.0	0.9	65.3	33.8	1.36	M	1.71
	70	7.92	0.0	0.5	53.7	45.8	1.52	M	1.49
	80	7.96	0.0	0.7	53.2	46.1	1.56	M	1.28
C-2	0	6.86	1.0	9.0	65.7	24.3	2.34	(g)M	
	10	4.81	8.0	31.9	49.7	10.4	3.15	gsM	3.04
C-3	0	7.42	0.0	3.9	65.1	30.8	1.61	Z	
	10	5.93	5.5	18.3	59.3	16.9	3.14	gsM	1.49
	20	5.88	3.6	23.5	56.3	16.6	3.27	(g)sM	4.36
	30	5.82	0.4	24.3	65.4	9.9	2.33	(g)sM	5.25
	40	6.01	0.3	25.2	54.0	20.5	2.35	(g)sM	5.25
C-4	0	7.52	0.0	5.1	54.4	40.5	1.71	M	
	10	7.59	0.0	1.0	60.4	38.6	1.34	M	1.01
	20	7.91	0.0	1.6	50.9	47.5	1.56	M	1.90
	30	7.7	0.0	2.1	52.3	45.6	1.69	M	2.37
	40	7.74	0.0	2.1	53.9	44.0	1.5	M	2.59
	50	7.73	0.0	2.8	54.1	43.1	1.69	M	2.59
	60	7.34	0.0	3.0	70.5	26.5	1.5	Z	2.82
	65	7.52	0.0	1.5	60.5	38.0	1.44	M	3.26

표 6. 계속

Table 6. Continued

Station No.	Core Depth (cm)	평균입도 (Φ)	함량비 (%)				분급도 (Φ)	퇴적물 유형	Shear Strength (kPa)
			Gravel	Sand	Silt	Clay			
C-5	0	7.57	0.0	3.6	58.8	37.6	1.52	M	
	10	7.44	0.0	2.1	69.1	28.8	1.33	Z	1.49
	20	7.59	0.0	1.2	60.7	38.1	1.39	M	1.71
	30	7.58	0.0	1.7	59.0	39.3	1.6	M	1.71
	40	7.33	0.0	1.3	91.5	7.2	1.01	Z	2.59
	50	7.86	0.0	0.8	53.1	46.1	1.46	M	1.49
	60	7.67	0.0	1.2	59.0	39.8	1.56	M	2.37
	70	7.48	0.0	0.9	75.5	23.6	1.25	Z	
C-6	0	6.93	0.0	19.2	40.0	40.8	2.56	sM	
	10	6.61	0.0	16.4	68.5	15.1	2.28	sZ	1.28
	20	5.53	1.5	25.7	63.4	9.4	2.75	(g)sM	3.26
	30	5.29	1.6	31.5	58.1	8.8	2.8	(g)sM	2.82
	40	5.45	0.2	40.6	48.7	10.6	2.79	(g)sM	3.04
	45	5.24	0.1	46.5	42.9	10.5	2.71	(g)sM	5.25
C-7	0	7.41	0.0	8.1	49.8	42.2	1.19	M	
	10	7.75	0.0	1.8	52.4	45.8	1.6	M	1.91
	20	7.26	0.0	5.6	71.7	22.7	1.51	Z	1.28
	30	7.59	0.0	1.0	65.4	33.6	1.32	M	2.82
	40	7.85	0.0	1.6	51.3	47.1	1.63	M	1.90
	50	7.97	0.0	1.3	48.1	50.6	1.53	M	2.37
	60	7.86	0.0	1.0	52.6	46.4	1.52	M	3.26
	70	7.67	0.0	0.8	59.7	39.5	1.26	M	2.37

본 조사에서 획득된 탄성과 자료를 분석한 결과, 어초 시설 예정지역에 따른 지형적인 요인과 조류(current)의 흐름에 따른 상부퇴적층은 분포양상이 서로 다르게 나타났다. 조사지역에 대한 상세한 자료가 없어 직접적인 자료의 비교는 불가능하지만 기존에 이미 알려진 남해-거제간 해역에서 밝혀진 자료를 토대로 조사지역 퇴적층에 대한 퇴적역사를 간략하게 기술할 수 있다. 한반도 대륙붕에서 마지막 빙하기이후 15,000년 동안의 해수면 상승은 크게 3단계로 이루어지는데, 약 5000년 전에 해수면은 현재와 같은 수준에 도달하였다(Bloom and Park, 1985; Park et al., 1994; Lee and Yoon, 1997). 따라서 조사지역에 분포하는 퇴적층도 일반적으로 잘 알려진 남해지역의 제4기 말 퇴적물과 유사할 것으로 생각된다(신 등, 1986; 김 등, 1986; 민, 1992; Park et al., 1994;1996; Jin and Chough,

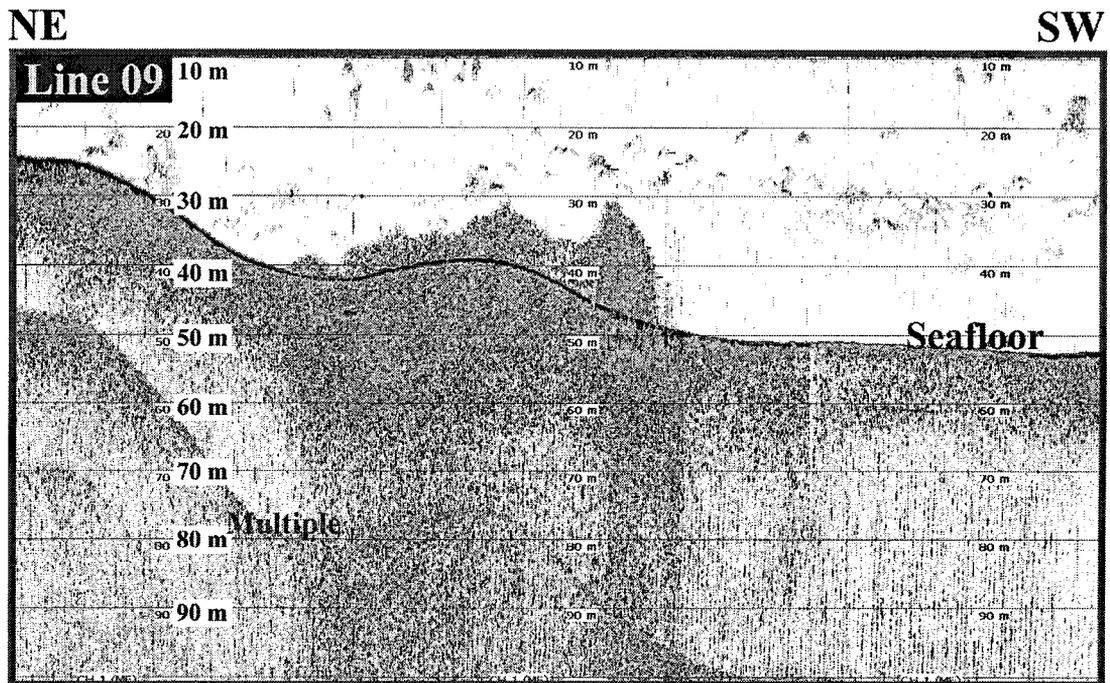
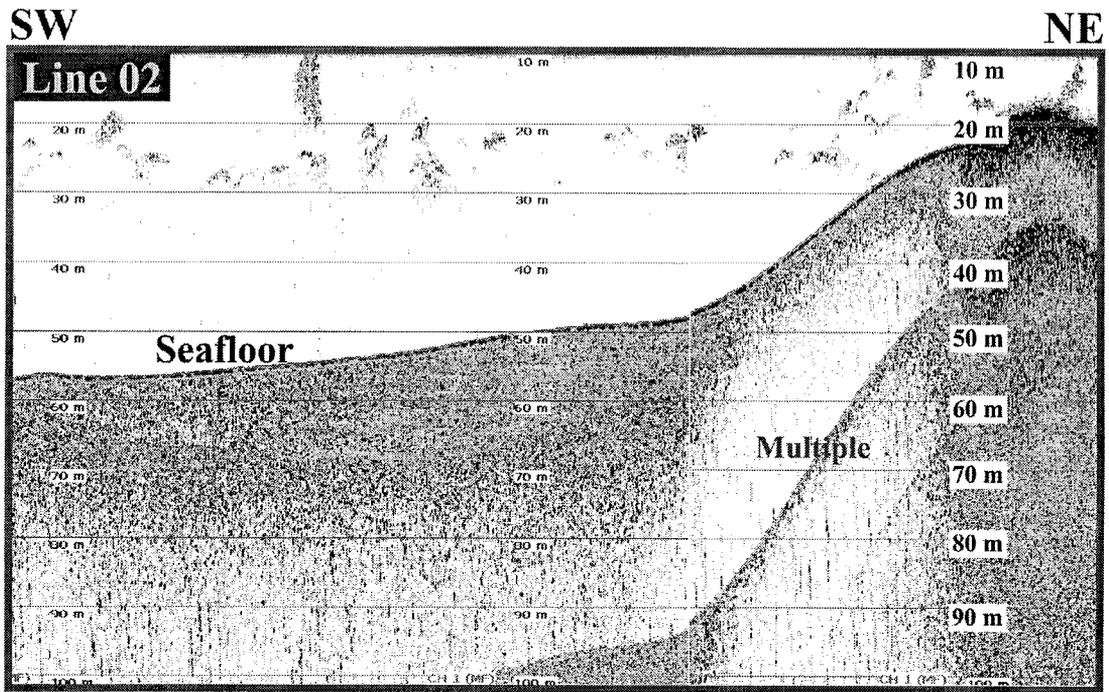


그림 18. 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도. SW와 NE는 남서 그리고 북동 방향을 나타냄.

Fig. 18. Acoustic profile of site B situated between Manji-do and Yeondae-do in the province of Kyongnam, Korea. SW and NE indicate the south-west and north-east of site B.

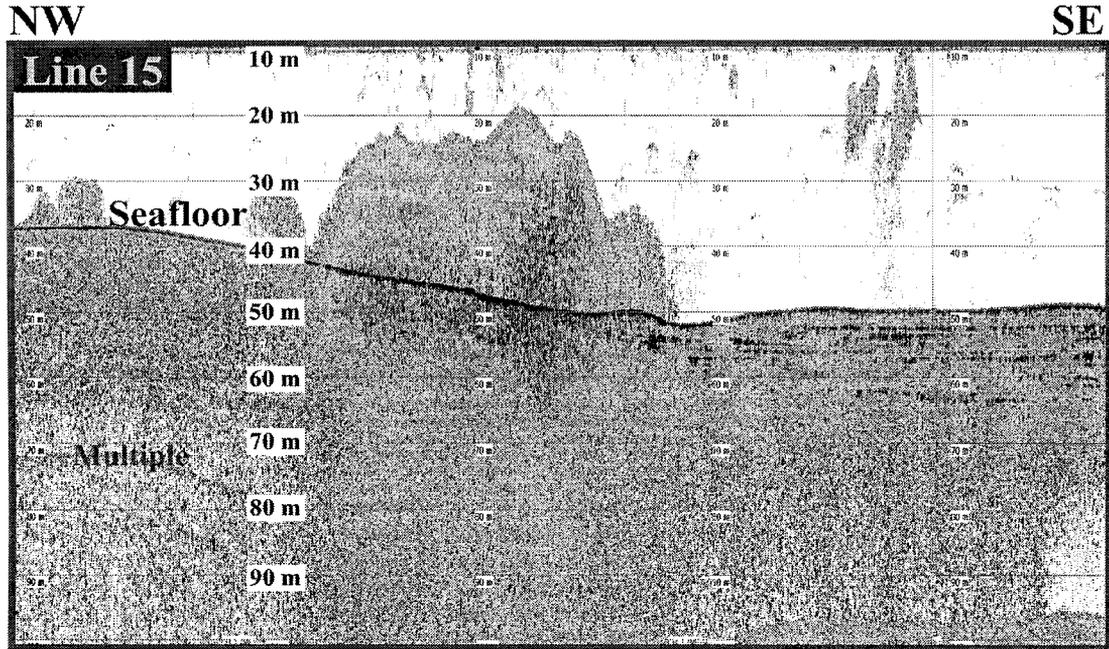


그림 18. 계속.
 Fig. 18. Continued.

1998). 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)은 패각편을 포함한 조립질퇴적물의 함량이 우세한 퇴적층의 경우 육지층(민건홍, 1992)과 유사한 특징을 가지는 퇴적된 층으로, 해수면 상승이후 퇴적환경(조류 등)의 변화에 의해 재배치된 퇴적층으로 생각된다. 그러나 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)의 경우 육지층 위에 현생퇴적층(recent deposit)이 분포하는 것으로 믿어지며, 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)의 20-30 m 두께의 두꺼운 니질 우세퇴적층은 제4기 말 이후의 현생퇴적층이며, 하부에 강한 반사층을 보이는 퇴적층은 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)과 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)의 퇴적층과 유사한 육지층으로 구분지을 수 있다.

나. 입도분석

조사지역에서 획득된 주상시료에 대해 수직적인 조직변화와 전단강도에 분석하였다. 주상시료채취가 불가능했던 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)에는 시료채취를 시도한 정점 4개 중 3개 지점의 코어캐처(core catcher)에 회수된 시료를 사용하여 분석하였으며, 나머지 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)에서 1개 정점, 그리고 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)에서는 7개 정점에 대해 분석하였다(표 6).

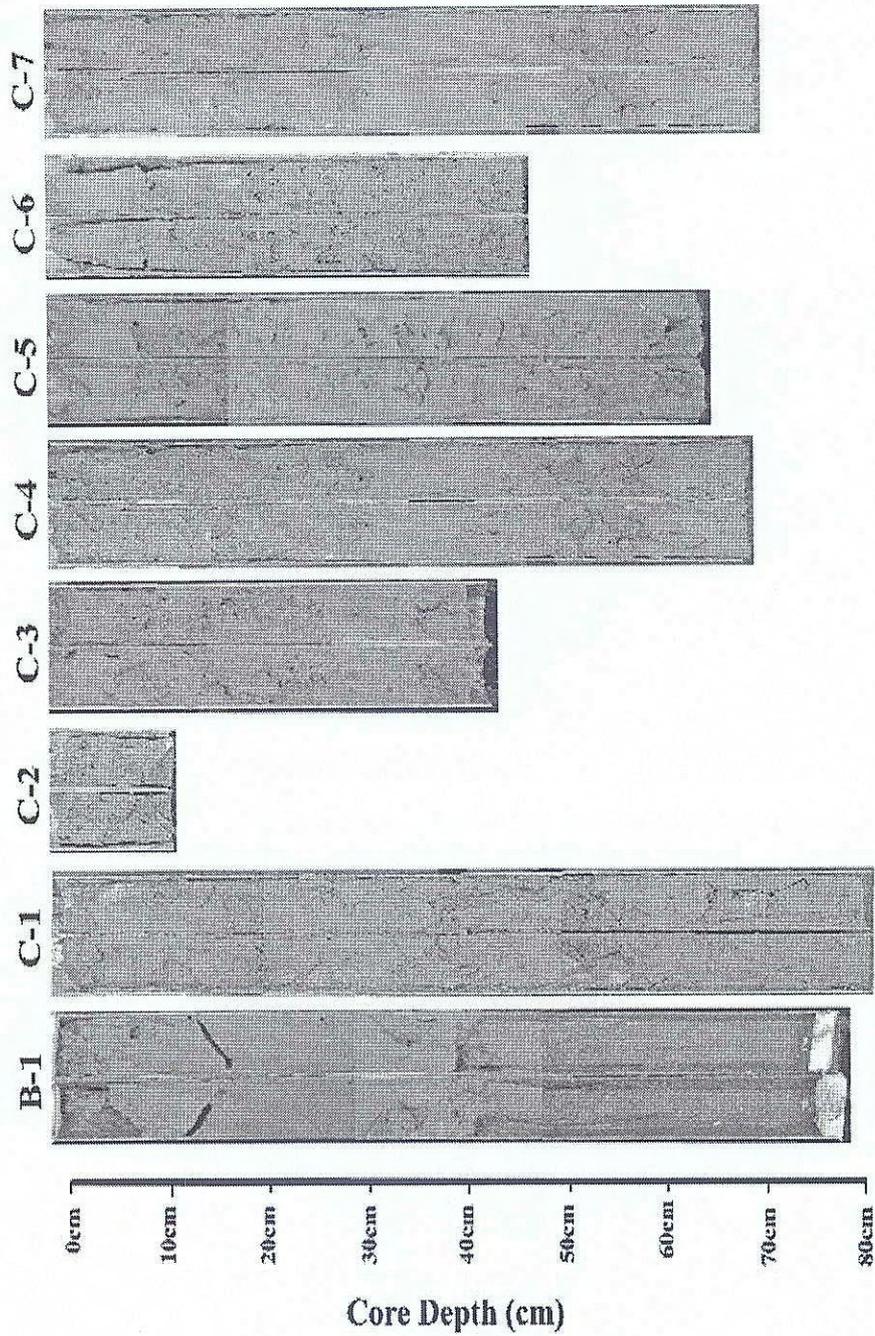


그림 19. 해저면에서 80 cm 깊이까지 채취한 주상시료의 갖기 다른 고화상태.

Fig. 19. The state of consolidation of sediments collected from seafloor to the depth of 80cm by gravity corer.

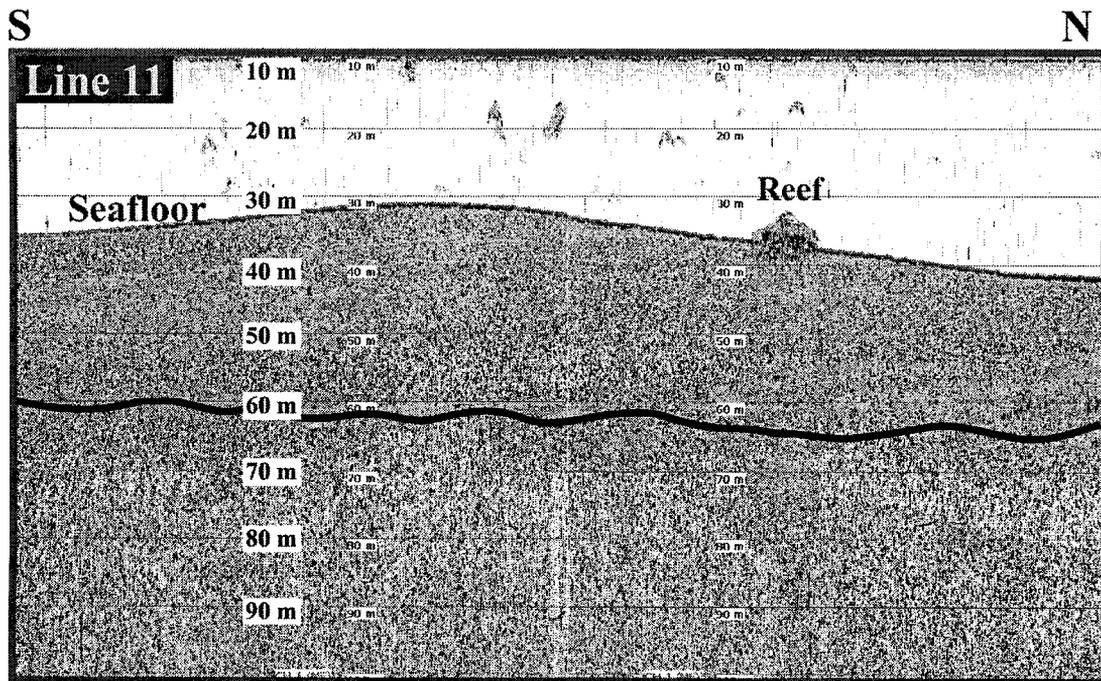
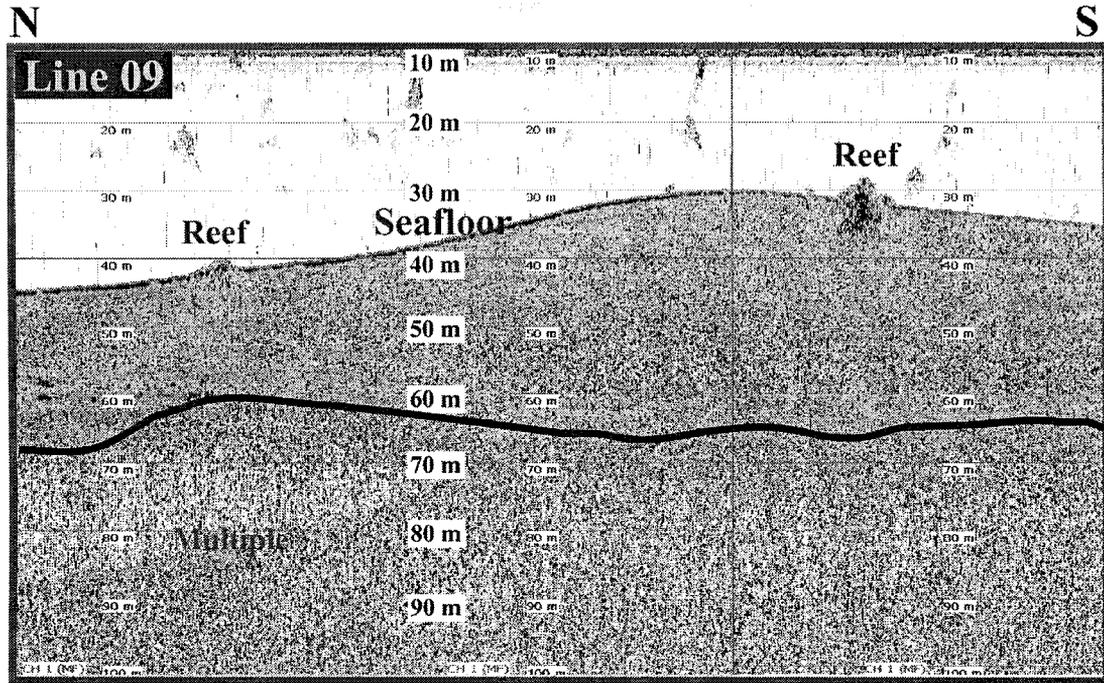


그림 20. 부도 남측에 위치한 사각어초 시설지(지역 C)의 탄성과 단면도. N과 S는 북쪽과 남쪽을 나타냄.

Fig. 20. Acoustic profile of dice reef area (site C) situated at the south of Bu-do in the province of Kyongnam, Korea. N and S indicate the north and south of site C.

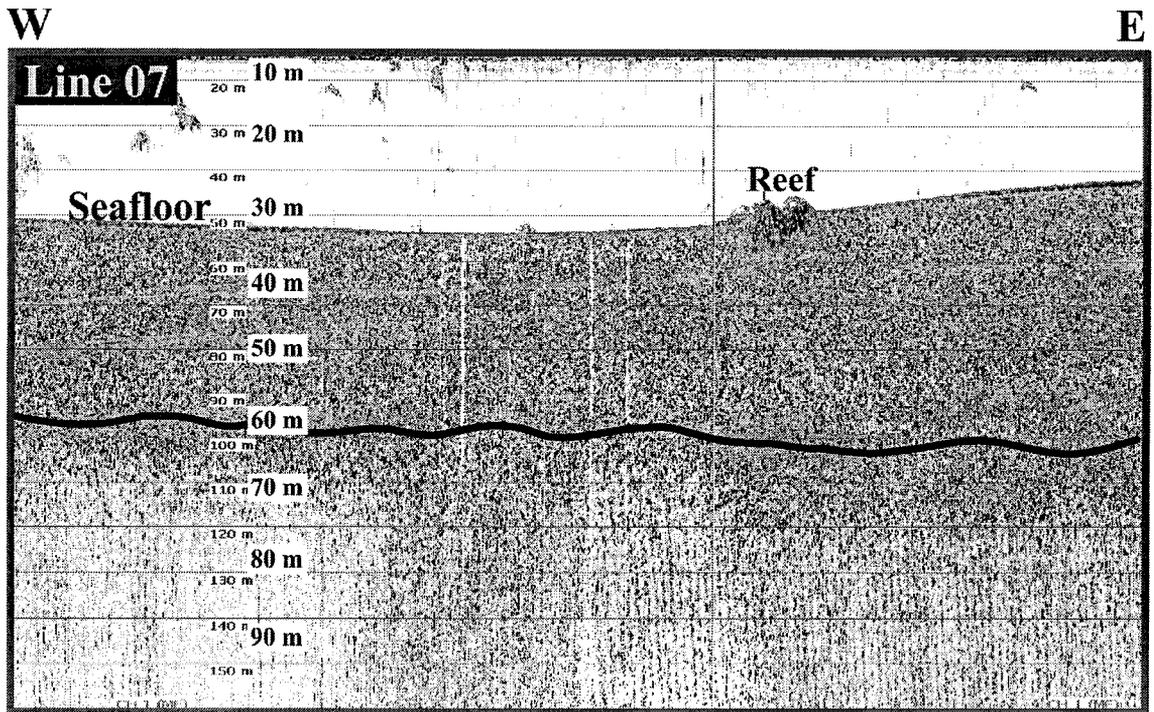
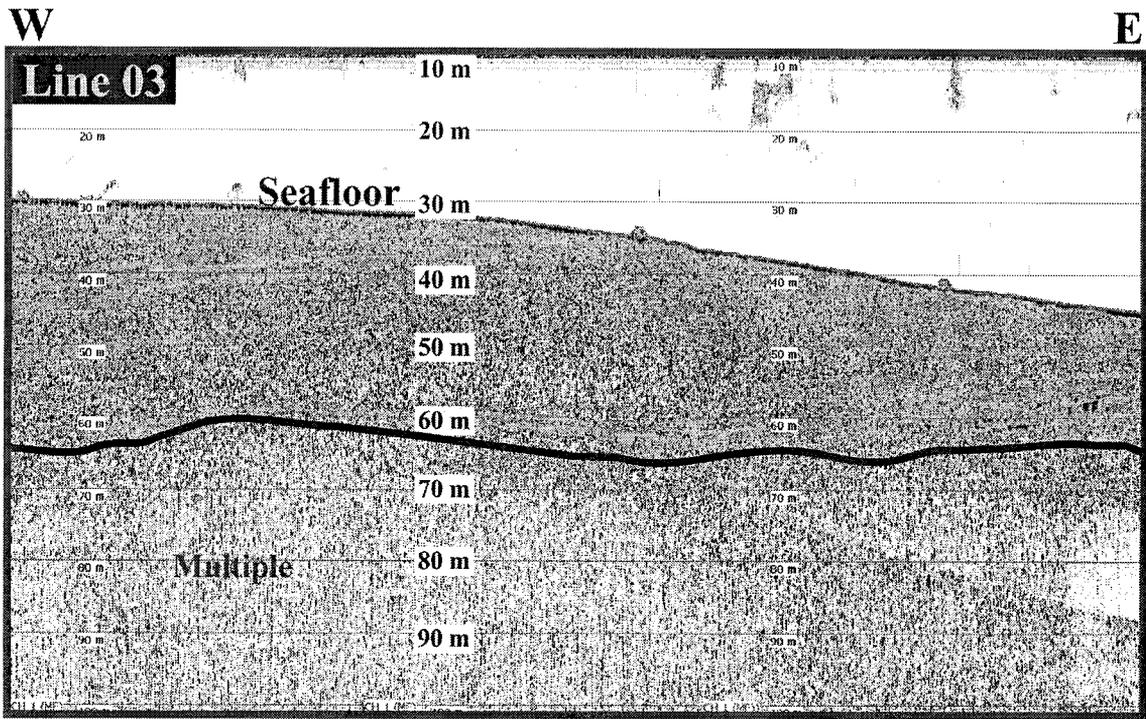


그림 20. 계속.

Fig. 20. Continued.

축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)을 제외하고는 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)과 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)의 표층퇴적물은 대부분 5 Φ 이상의 실트(silt)와 점토(clay)의 함량이 높은 퇴적물이 우세하게 나타났으나, 이러한 특징들은 수직적으로는 큰 변화를 나타내지 않았다. 조사지역의 평균입도는 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)에서 1.99 - 3.61 Φ , 지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)은 5.80 - 6.76 Φ , 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)은 4.81 - 7.97 Φ 의 값을 나타내었다. 이들 지역의 퇴적물유형(sediment type) 대부분은 뺨(mud)이 우세하게 나타나며, 사질과 자갈의 함량에 따라 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)에 위치한 정점과 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)에 위치한 정점 C-3, C-6에서는 다른 퇴적물의 유형을 보이며, 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)의 경우 퇴적물 유형은 Silt가 우세하게 나타나고 있다(그림 21). 입도별 함량비를 보면 특히 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)의 정점 C-1, C-4, C-5, C-7의 경우 대부분 7 Φ 이상으로 모래의 함량이 10% 이내로 적게 나타났으며, 상대적으로 C-2, C-3, C-6지역에서는 모래를 포함한 조립질 퇴적물의 함량이 높게 나타났다. 탄성과 단면상의 특징과 코어사진에서 고화된 특징을 보였던 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)의 주상시료는 채취정점에 비해 Silt의 함량이 거의 80%이상으로 높게 나타났다. 또한 조사지역의 분급도는 불량 내지는 매우 불량한 것으로 나타났다. 한편 통영바다 목장 내의 조성지에 대한 저질조성을 나타내면 그림 22와 같다.

다. 전단강도

본 조사지역에서의 전단강도 측정은 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)을 제외하고는 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)의 정점들은 1.01 - 5.25 kPa로서 남해지역 현생퇴적물의 분석결과(김 등, 1991; 김 등, 1994; 성, 1994)와 유사한 값을 보인다(표 6). 그러나 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)의 경우 탄성과 분석결과 고화된 층의 특징을 보이며, 입도분석에서도 실트의 함량이 80%이상으로 높게 나타났지만, 전단강도의 값이 4.58 - 21.00 kPa로 나타나 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)의 값에 비해 훨씬 높게 나타났다.

라 인공어초의 적정 시설 예정지

본 조사에서는 통영바다목장지역 내의 금후 어초 시설 예정지로 축도와 달아공원 사이(Site A), 만지도와 연대도 남측지역(Site B)에 대하여 탄성파에 의한 지층탐사, Gravity corer에 의한 해저면부터 80 cm 깊이까지 채취한 퇴적물에 대해 입도분석과 전단강도를 조사하였다. 특히 입도 조성 만으로는 어초의 매몰을 예측하기 어려움으로 퇴적층

- G : gravel
M : mud
S : sand
mg : muddy gravel
msG : muddy sandy gravel
sG : sandy gravel
gM : gravelly mud
gsM : gravelly sandy mud
gmS : gravelly muddy sand
gS : gravelly sand
(g)M : slightly gravelly mud
(g)sM : slightly gravelly sandy mud
(g)mS : slightly gravelly muddy sand
(g)S : slightly gravelly sand
sM : sandy mud
mS : muddy sand
- | | | | |
|---|-----|---|-----|
| ▬ | A-1 | ▬ | A-2 |
| □ | A-3 | ■ | B |
| ☆ | C-1 | ★ | C-2 |
| △ | C-3 | ▲ | C-4 |
| ● | C-5 | ○ | C-6 |
| ○ | C-7 | | |

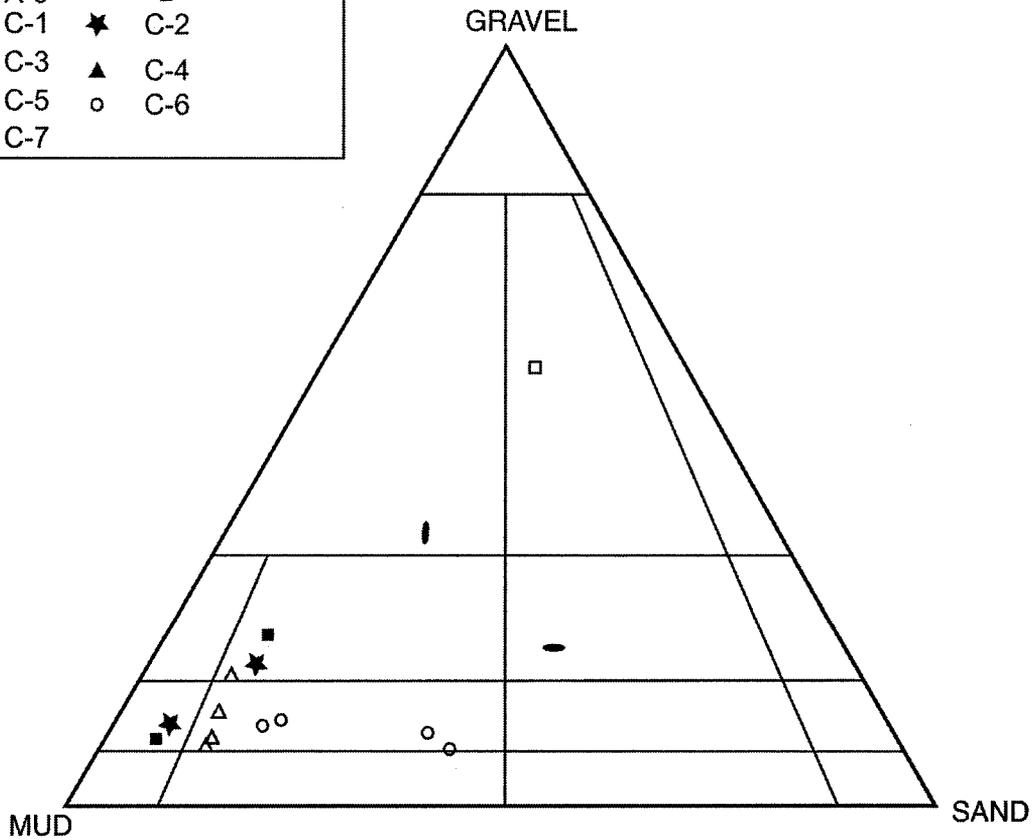
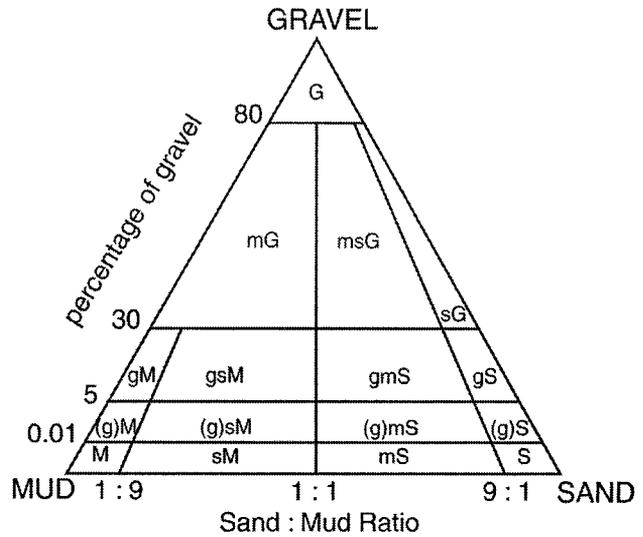


그림 21. 인공어초 시설 예정지의 퇴적물 유형 삼각다이아그램.

Fig. 21. Triangular diagram of the sediment type collected at the expected area of artificial reef installation by gravity corer.

S : sand		
C : clay		
M : mud		
Z : silt		
cS : clayey sand		
mS : muddy sand		
zS : silty sand		
sC : sandy clay		
sM : sandy mud		
sZ : sandy silt		
▬ A-1	● A-2	
□ A-3	■ B	
☆ C-1	★ C-2	
△ C-3	▲ C-4	
○ C-5	● C-6	
⬡ C-7		

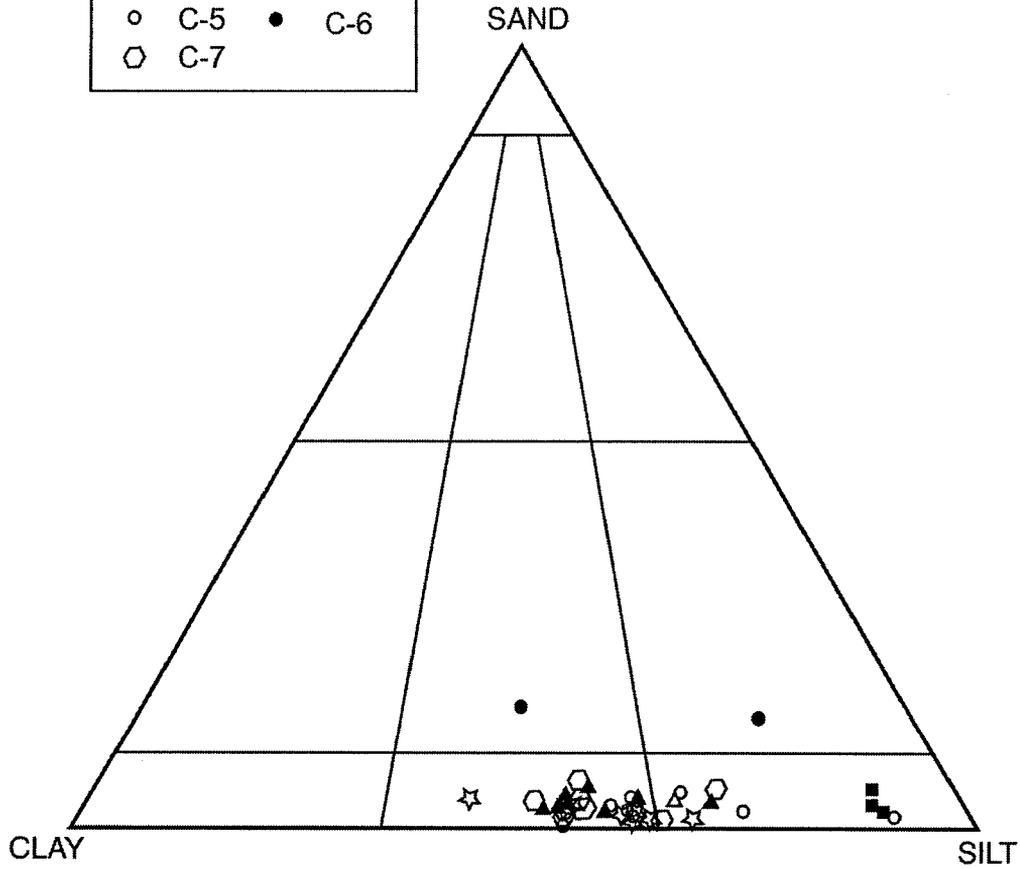
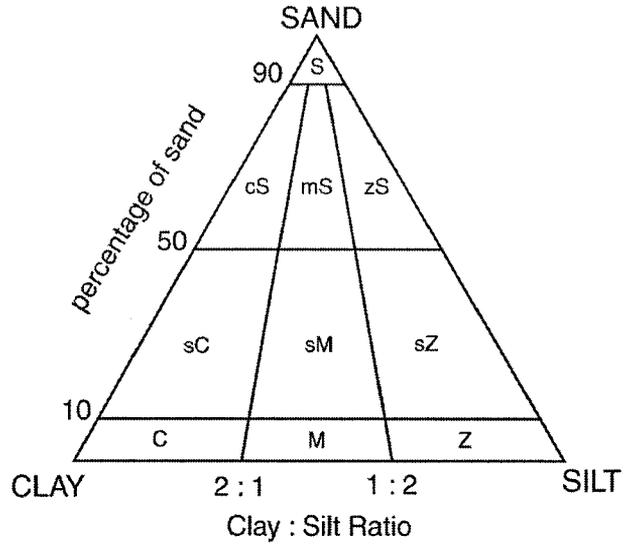


그림 21. 계속.

Fig. 21. Continued.

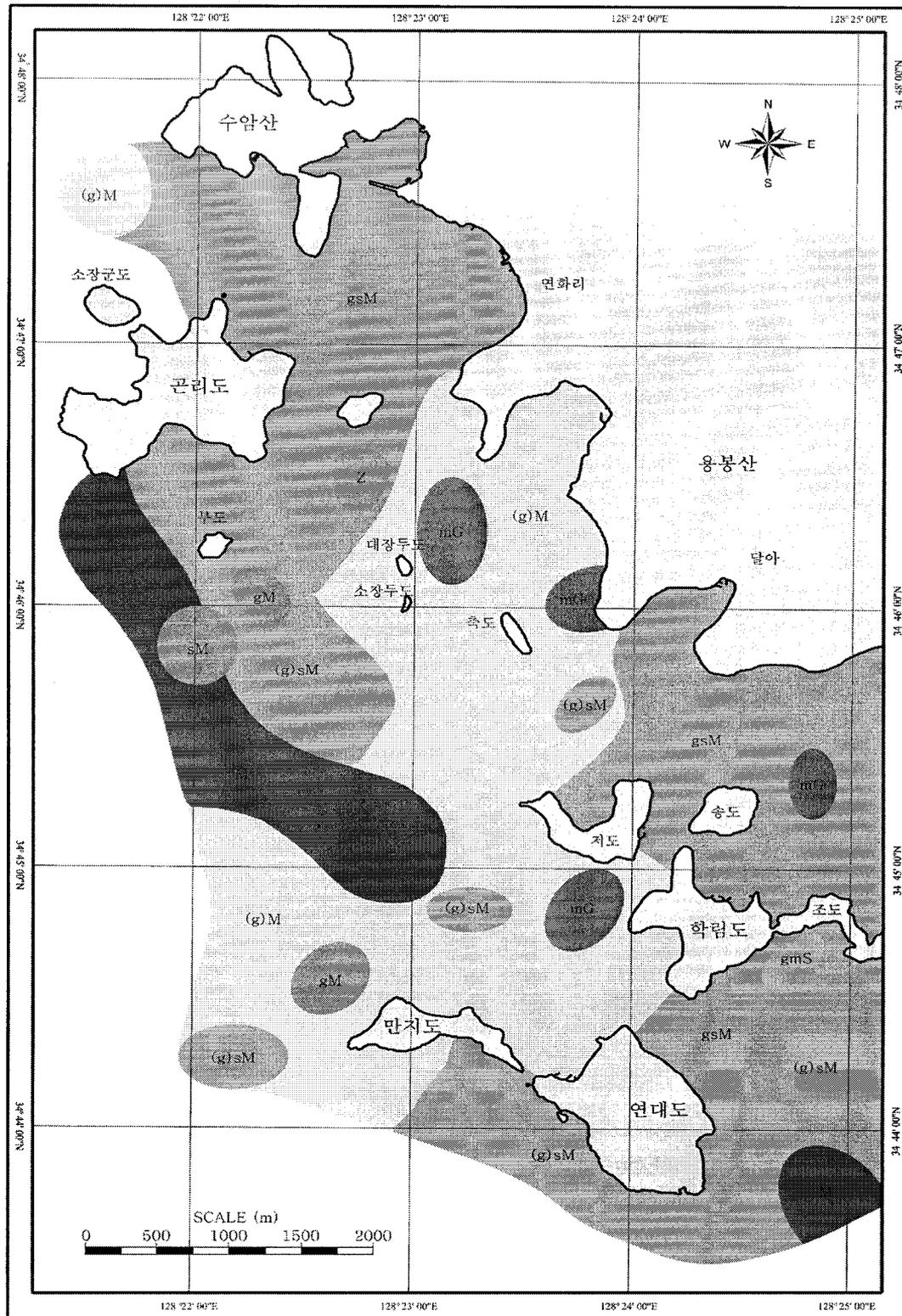


그림 22. 통영바다목장 내의 저질조성도.

Fig. 22. Map showing the composition of sediment at the Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.

의 고화상태와 전단강도 값을 이용하여 어초 매몰의 가능성을 평가하였다.

어초의 매몰을 예측함에 있어 조사된 지역의 절대값을 이용하는 것이 바람직하나, 본 조사에서는 조사된 값이 없어 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)에서 조사된 전단강도 값과 비교하였다. 동 지역을 상대값으로 선택한 것은 어초가 분산 혹은 집중 상적되어 있는 지역에서도 잠수조사 결과 거의 매몰이 관찰되지 않았기 때문이다.

어초시설 예정지역의 선정과 관련하여 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)에 있어서는 달아공원에 가까운 쪽($34^{\circ}45'48'' \sim 46'00''$, $128^{\circ}23'30'' \sim 23'33''$)이나, 축도에 가까운 쪽($34^{\circ}45'52'' \sim 46'00''$, $128^{\circ}23'48'' \sim 24'00''$)이 적지로서 판단된다. 그의 이유로서는 해저면으로부터 일정 깊이까지 퇴적층의 두께가 일정한 값으로 나타내고 있으며(그림 23), 조사점에서의 저질조성도 패각과 패각편을 포함한 조립질 퇴적물이 우세하여 어초 매몰은 거의 없을 것으로 판단되기 때문이다.

또한, 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)에 있어서는 만지도 남측($34^{\circ}43'54'' \sim 44'15''$, $128^{\circ}22'36'' \sim 23'06''$), 그리고 만지도와 연대도 사이($34^{\circ}44'00'' \sim 44'12''$, $128^{\circ}23'18'' \sim 23'30''$)이 적지로서 판단된다. 이와 같은 판단의 근거는 Site A에서와 같이 해저면으로부터 일정 깊이까지 퇴적층의 두께가 일정한 값으로 나타내고 있고(그림 24), 조사 점에서의 저질조성은 해저표면에 있어서는 Silt에 자갈이나 모래가 함유되어 있기 때문이다. 그러나 해저면으로부터 10 cm 깊이부터는 Silt가 대부분을 차지하고 있었는데, Silt의 성상이 상당히 강한 고화상태를 나타내었다. 이런 상태는 전단강도 값으로 어느 정도 추정이 가능하였는데, 동 조사점에서의 해저면으로부터 10 cm 깊이의 전단강도 값은 7.68 kPa로 비교적 높은 값을 나타내고 있다. 그러나 이 값만으로는 어초의 매몰에 대한 정보를 주지 못함으로 어초가 시설된 지역에서의 값과 비교하였는데, Site B의 전단강도 값은 7.68 kPa로 어초가 시설된 지역의 해저면으로부터 10 cm 깊이의 전단강도 값 1.28~4.36 kPa 보다 훨씬 높아 어초의 매몰은 크지 않을 것으로 예상된다(그림 25). 다만, 한변이 2 m인 사각어초 보다 중량이 큰 어초를 시설할 경우 매몰의 예측과 관련해서는 시설 예정 어초의 중량을 알 수 없어 예측하기 어려우나, 단위면적당 하중을 계산한 후 시설하면 매몰에 대한 우려는 없을 것으로 판단된다.

본 조사에서 통영바다목장 내 어초적지를 제시한 것은 단지 어초 매몰 등 공학적 조건 만을 고려한 것이다. 그러나 금후 시설될 어초의 어장생산성을 높이기 위해서는 대상 생물의 특성 등 생물학적 조건, 이용어법 등 사회 경제적 조건을 면밀히 분석하여 결정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

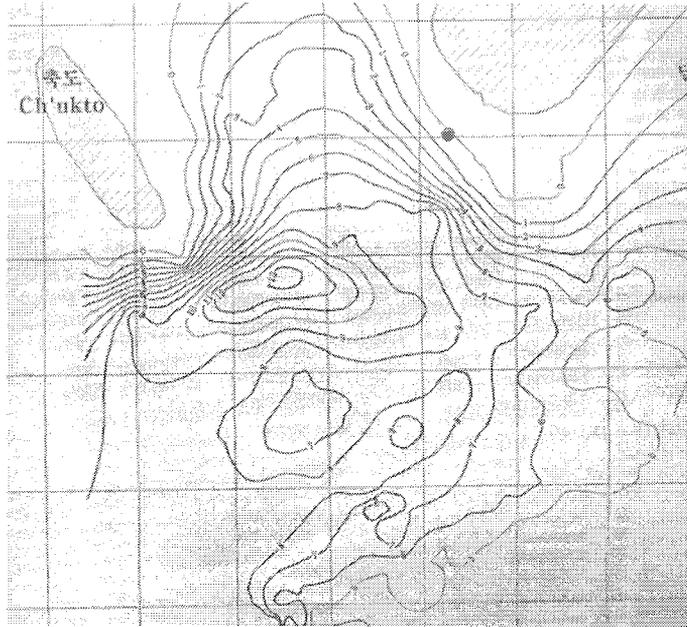


그림 23. 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역 A의 지층두께.

Fig. 23. The thickness of subbottom of site A situated between Chuk-do and the Dala park in the province of Kyongnam, Korea.

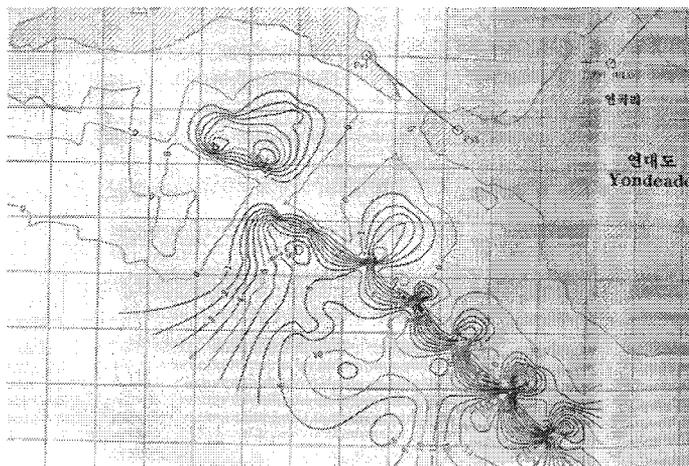


그림 24. 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역 B의 지층 두께.

Fig. 24. The thickness of subbottom of site B situated between Manji-do and Yeondae-do in the province of Kyongnam, Korea.

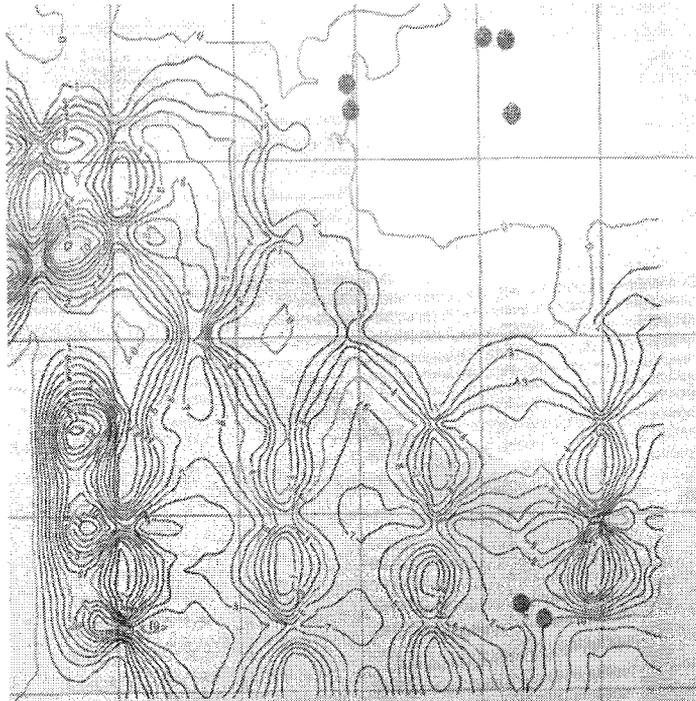


그림 25. 부도 남측에 위치한 사각어초 시설지(지역 C)의 지층 두께.

Fig. 25. The thickness of subbottom of dice reef area (site C) situated at the south of Bu-do in the province of Kyongnam, Korea.

3. 인공어초 어장의 기능 향상 요인 조사

가. 인공어초 배치형태와 어획효과

통영바다목장 내에 시설된 어초어장 중 1978년, 1987년, 그리고 1998년에 각각 시설된 지역에 대하여 삼중자망에 의한 어획량, 그리고 잠수조사에 의해 어류 위집상태, 어초 시설상태, 어구걸림 등을 조사하였다.

어초 시설 경과 연도별 삼중자망에 의한 폭당 어획량을 보면, 시설 후 약 15년이 경과한 곤리도 사각어초어장(그림 26)에서 4,463g으로 가장 높았고, 그 다음은 5년이 경과한 옉도 사각어초어장(그림 27)으로 2,133g이었다. 그리고 약 25년이 경과한 곤리도의 소형 사각어초어장(그림 27)은 947g으로 가장 낮았다(표 7).

어초의 시설상태와 어획량의 경우, 한번이 2 m인 사각어초가 2-3단의 높이로 3개소가 서로 인접되어 시설된 곤리도 어초어장(그림 26)과 2-3단으로 1개소만 시설된 옉도 어초어장(그림 27)에서 어획된 주요 어종은 조피블락, 블락, 농어 등 어류로 두 장소간에

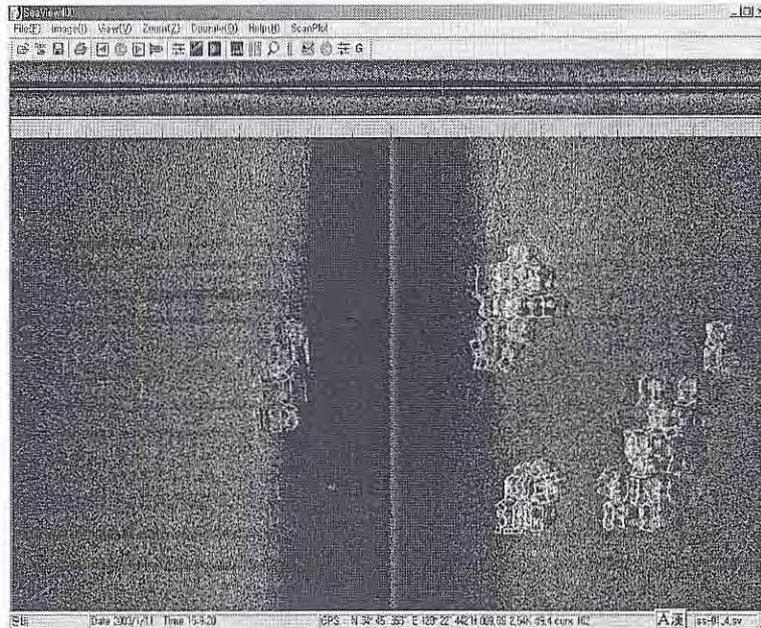


그림 26. 통영바다목장 내의 곤리도에 시설된 어초 형상. 어초의 용적은 8 m³이며, 어초 어장은 3개의 단위어초로 구성되어 있음.

Fig. 26. Configuration of Dice reefs installed at Gonri-do in Tongyeong marine ranching area, Korea. The volume of Dice reef is 8m³. The reef ground consists of three reef sets.

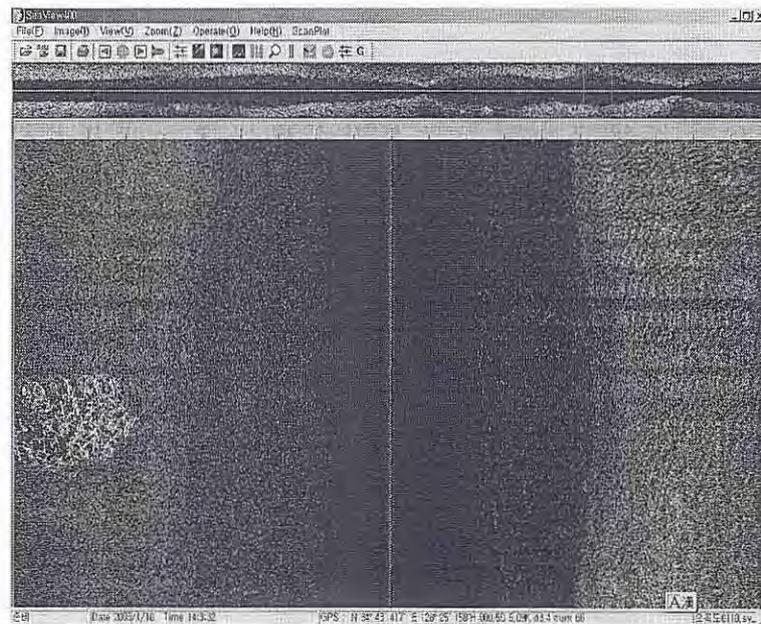


그림 27. 통영바다목장 내의 옉크도에 시설된 어초 형상. 어초의 용적은 8 m³이며, 어초 어장은 1개의 단위어초로 구성되어 있음.

Fig. 27. Configuration of Dice reefs installed at Okok-do in Tongyeong marine ranching area, Korea. The volume of Dice reef is 8m³. The reef ground consists of one reef set.

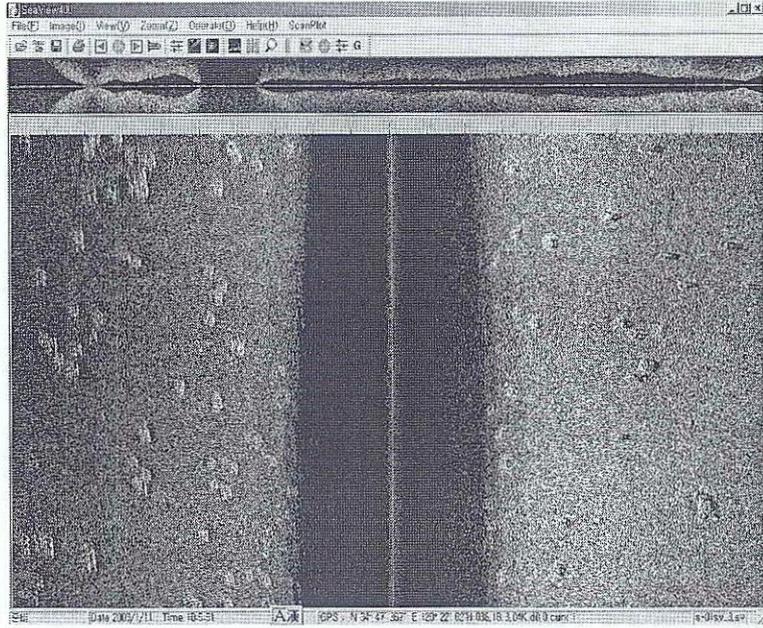


그림 28. 통영바다목장 내의 곤리도에 시설된 어초 형상. 시설어초는 한변이 1 m인 사각어초로, 어초 어장은 분산되어 있음.

Fig. 28. Configuration of Dice reefs installed at Gonri-do in Tongyeong marine ranching area, Korea. The volume of Dice reef is 1m³. Reefs was scattered.

큰 차이가 없었다. 그러나 어획량의 경우 전자가 후자에 비해 4배정도 높게 나타났다. 이와 같이 어획량에서 차이를 나타낸 것은 여러 요인이 있겠으나, 그 중에 하나의 요인으로서는 어초의 규모에 의한 영향에 기인했을 것으로 추측된다. 조피볼락이나 볼락은 주축성 어류로 먼구조를 선호하며, 농어의 경우 보목적성 어류로 부피가 큰 구조를 좋아한다 (Kim 2001). 오탁도 어초어장에 비해 곤리도 어초어장에서 어획량이 높았던 것은 곤리도 어장이 상대적으로 많은 량의 어초가 시설됨으로 인해 음영이 풍부하고 어초들이 서로 중첩되어 공극율이 낮아져, 먼구조를 많이 부여했기 때문이라고 생각된다.

이들 결과로부터 통영바다목장 내에 어초를 시설할 경우, 어초 그룹의 적정규모로는 2,400 m²가 적당한 것으로 생각되며, 배치방법과 관련하여 1개소에 모두 시설하는 것보다 800 m² 규모로 서로 인접하여 시설하고(그림 26), 어초 시설 높이로는 4~5 m정도(2~3 단)로 하는 것이 바람직하다고 판단된다. 본 연구에서는 I 형과 II형 어류를 동시에 위잡시키는 어초의 규모와 시설높이, 배치형태을 제시하였다. 그러나 어초의 시설형태 즉, 분산 시설하는 것이 좋은지 혹은 집중 시설하는 것이 좋은지에 대해서는 해역조건에 따라 다르므로, 배치형태를 결정함에 있어서는 대상어종의 이동경로, 서식지 등을 파악하여 고려해야 한다.

표 7. 통영바다목자 조성지 내에 시설된 사각어초 어장의 시설 결과 연도별 삼중자망에 의한 어획량 비교

Table 7. Comparison of fish catch from trammel gill net at Dice reefs installed at different years in Tongyeong marine ranching area, Korea

Species	어류의 어초반응 형태	어초단지명							
		*곤리-78		곤리도-87		오곡도-98		부도-00	
		개체수 (마리)	중량 (g)	개체수 (마리)	중량 (g)	개체수 (마리)	중량 (g)	개체수 (마리)	중량 (g)
조피볼락 <i>Sebastes thompsoni</i>	I	5	1,940	22	10,190	2	1,270	10	4,190
볼락 <i>Sebastes inermis</i>	I	-	-	2	860	3	630	-	-
농어 <i>Lateolabrax japonicus</i>	II	-	-	2	1,450	1	600	-	-
참돔 <i>Pagrus major</i>	II	1	480	-	-	-	-	1	330
망상어 <i>Ditrema temmincki</i>	II	-	-	-	-	-	-	1	260
전갱이 <i>Trachurus japonicus</i>	III	-	-	-	-	-	-	1	410
도다리 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	기타	3	420	2	290	3	700	2	1,210
홍어 <i>Raja porosa</i>	기타	-	-	2	600	-	-	-	-
단위노력당어획량 (CPUE, 마리/폭; g/폭)		3.0	947	10.0	4,463	3.0	1,067	5.0	2,133

*곤리-78는 1987년도에 곤리도에 어초 시설되었음을 나타냄.

나. 통영바다목장 조성지 내에 시설된 어초에서의 어류 위집 및 매물 상태

1978년에 소형사각어초가 시설된 곤리도 어초어장(그림 28)의 저질은 니패각질이 있으며, 어초는 10~20 cm정도 묻혀있었고, 부착생물의 경우, 해면동물, 우렁쟁이가 우점종을 이루고 있었다. 한편, 1987년도에 시설한 곤리도 사각어초(그림 26)의 경우 어초는 약 20 cm정도 묻혀있으며, 부착생물은 1978년 시설된 소형사각어초어장에서와 같이 해면동물, 우렁쟁이가 우점종을 이루고 있었다. 동 어초어장에서의 어류의 위집은 수십마리의 볼락치어, 조피볼락등이 관찰되었다. 이와 같이 다량의 어종이 어초어장에서 관찰된 것으로 미루워보아 바다목장이 어느 정도 성과를 올리고 있음을 확인할 수 있었다. 오곡도 어초어장(그림 27)의 경우 어초의 매물은 거의 관찰되지 않았으며, 부착생물은 해면동물이 주종을 이루고 있었다. 어류의 경우 조피볼락, 쥐노래미 등이 어초에 위집하고 있었다.

각 어초어장에서 어구걸림과 관련해서는 1978년에 시설된 소형사각어초어장과 1987년에 시설된 곤리도 어초어장에서는 어초에 어구가 걸려 있는 것이 관찰되지 않았으나, 오크도 어초어장에서는 통발, 로프, 폐어구 등이 걸려 있어 제거하였다. 통영바다목장 내에 시설된 어초어장에서 어초의 매몰은 거의 일어나지 않았으며, 어초에 어구걸림도 거의 없어 어초어장의 기능을 충분히 발휘하고 있음이 확인되었다. 그러나 어업인들에 의한 어로행위가 주년 이루어지고 있으므로 계속해서 어초기능의 유지측면에서 많은 관심이 있어야 할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

1. 통영해역 바다 목장화 조성지 주변에 시설된 어초의 시설 위치 파악

통영바다목장 20 km² 지역내에 시설된 어초의 량은 752 ha이며, 어초의 종류는 소형사각형어초(1×1×1 m), 사각형어초(2×2×2 m), 반구형어초 (ø2.0×1.3 m), 강제어초(14×14×9 m) 등 4종이다. 시설장소를 보면, 반구형어초 등 패·조류용 어초는 20개소(266 ha), 사각형어초 및 강제어초 등 어류용 어초는 9개소(486 ha)이다. 시설년도는 어류용 어초의 경우 1978년, 패·조류용 어초의 경우 1993년부터 각각 시설하였다. 연대별 시설량을 보면, 어류용 어초의 경우 1970년대 36 ha(900개), 1980년대 288 ha(2,590개), 1990년대 이후 85 ha(823개)를 시설하였다.

바다목장 내에 시설된 어초 높이 등 시설상태와 관련해서는, 어류용 어초의 경우, 한번이 1 m인 사각어초(1×1×1 m)는 1~2 m 높이로 분산 시설되어 있었고, 한번이 2 m인 사각어초(2×2×2m)는 2~5 m 높이로 집중 상적되어 있었다. 한편 연안의 비교적 얕은 지역에 시설되고 있는 패·조류용 어초는 1단 병렬로 시설되어 있었고, 어초 높이도 1~2 m 정도였다.

2. 바다목장 조성 예정지 내의 어초 시설적지 평가

가. 탄성파탐사

축도와 달아공원 사이 지역(Site A)은 북서측의 축도, 동측의 달아포, 남측의 저도를 경계로 두고 있으며, 수심이 수 m에서 40 m로 달아포와 저도 사이는 조도수도의 연장선상에 놓인 지역으로 급격한 수심의 변화를 보인다. 탄성과 단면도상의 특징도 내부층리의 발달 없이 축도와 달아포 입구 쪽은 해저면에 음향기반암(acoustic basement)이 노출이 뚜렷하게 보이며, 조사지역 남측으로 갈수록 내부반사면의 형태가 빈약하긴 하지만 10-20 m 전후의 두께를 가지면서 나타난다. 이들 지역에서 주상시료 채취를 위해 네차례에 걸쳐 시도되었지만 양호한 주상시료를 얻을 수 없었다. 그러나 소량이지만 코어캐처(core

catcher)에 획득된 상부퇴적물의 대부분이 수 cm 껍질(shell) 또는 껍질편(shell fragment)을 포함한 조립질퇴적물이 우세한 퇴적상을 볼 수 있었고 이들 시료를 분석하여 자료를 획득하였다.

만지도와 연대도 남측 지역(Site B)은 이들 2개의 섬의 해안선에서 남서쪽 방향으로 수 m에서 60 m 이상으로 급격한 수심 변화를 나타내고 있다. 탄성과 단면도상의 특징은 Site A지역과 유사한 조립질의 함량이 높은 음향상과 비교적 수심 30-50 m를 전후한 깊이에서 비교적 연속성을 가지는 내부 층리를 보이는 층도 나타났다. 표층퇴적물의 특성은 전체적으로 Site A와 유사하며 니질과 사질의 혼합된 형태의 퇴적물에 다량의 껍질편이 포함되어 있다. 특히 연대도 남서측의 탄성과 단면상에는 강한 반사특징을 가지는 퇴적층을 볼 수 있는데 이는 고화(consolidation)된 탄성과 특징을 잘 나타내주고 있다. 이러한 특징은 절개된 코어에서 사진에서도 잘 관찰되며 수직적으로 획득된 전단강도(shear strength) 값도 다른 조사지역에 비해 훨씬 높은 값(7.0 - 21 kPa)을 가진다.

나. 입도분석

축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)을 제외하고는 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B), 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)의 표층퇴적물은 대부분 5 Φ 이상의 실트(silt)와 점토(clay)의 함량이 높은 퇴적물이 우세하게 나타났으며, 이러한 특징들은 수직적으로도 큰 변화를 나타내지 않았다. 조사지역의 평균입도는 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)에서 1.99 - 3.61 Φ , 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)은 5.80 - 6.76 Φ 의 값을 가진다. 이들 지역의 퇴적물유형(sediment type) 대부분은 뺨(mud)이 우세하게 나타나며, 사질과 자갈의 함량에 따라 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)에 위치한 정점과 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)의 경우 퇴적물 유형은 Silt가 우세하게 나타나고 있다.

다. 전단강도

본 조사지역에서의 전단강도 측정은 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)을 제외하고는 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)과 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)의 정점들은 1.01 - 5.25 kPa범위였다. 그러나 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)의 경우 탄성과 분석결과 고화된 층의 특징을 보이며, 입도분석에서도 실트의 함량이 80%이상으로 높게 나타났지만, 전단강도의 값이 4.58-21.00 kPa로 나타나 부도 남측에 위치한 기존 사각어초 시설지(Site C)의 값에 비해 훨씬 높게 나타났다.

라. 인공어초의 적정 시설 예정지

어초시설 예정지역의 선정과 관련하여 축도와 달아공원 사이에 위치한 지역(Site A)에

있어서는 달아공원에 가까운 쪽($34^{\circ}45'48'' \sim 46'00''$, $128^{\circ}23'30'' \sim 23'33''$)이나, 축도에 가까운 쪽($34^{\circ}45'52'' \sim 46'00''$, $128^{\circ}23'48'' \sim 24'00''$)이 적지로서 판단된다. 그의 이유로서는 해저면으로부터 일정 깊이까지 퇴적층의 두께가 일정한 값으로 나타내고 있으며, 조사점에서의 저질조성도 패각과 패각편을 포함한 조립질 퇴적물이 우세하여 어초 매물은 거의 없을 것으로 판단된다.

또한, 만지도와 연대도 남측에 위치한 지역(Site B)에 있어서도 만지도 남측($34^{\circ}43'54'' \sim 44'15''$, $128^{\circ}22'36'' \sim 23'06''$), 그리고 만지도와 연대도 사이($34^{\circ}44'00'' \sim 44'12''$, $128^{\circ}23'18'' \sim 23'30''$)이 적지로서 판단된다.

3. 인공어초 어장의 기능 향상 요인 조사

가. 인공어초 배치형태와 어획효과

어초 시설 경과 연도별 삼중자망에 의한 폭당 어획량을 보면, 시설 후 약 15년이 경과한 곤리도 사각어초어장에서 4,463g으로 가장 높았고, 그 다음은 5년이 경과한 오곡도 사각어초어장으로 2,133g이었다. 그리고 약 25년이 경과한 곤리도의 소형사각어초어장은 947g으로 가장 낮았다. 어초의 시설상태와 어획량의 경우, 한번이 2 m인 사각어초가 2-3단의 높이로 3개소가 서로 인접되어 시설된 곤리도 어초어장과 2-3단으로 1개소만 시설된 오곡도 어초어장에서 어획된 주요 어종은 조피볼락, 볼락, 농어 등 어류로 두 장소간에 큰 차이가 없었다. 그러나 어획량의 경우 전자가 후자에 비해 4배정도 높게 나타났다.

이들 결과로부터 통영바다목장 내에 어초를 시설할 경우, 어초 그룹의 적정규모로는 2,400 m²가 적당한 것으로 생각되며, 배치방법과 관련하여 1개소에 모두 시설하는 것보다 800 m² 규모로 서로 인접하여 시설하고, 어초 시설 높이로는 4~5 m정도(2~3단)로 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

나. 통영바다목장 조성지 내에 시설된 어초에서의 어류 위집 및 매물 상태

1978년에 소형사각어초가 시설된 곤리도 어초어장의 저질은 니페각질이었으며, 어초는 10~20 cm정도 묻혀있었고, 부착생물의 경우, 해면동물, 우렁쉥이가 우점종을 이루고 있었다. 한편, 1987년도에 시설한 곤리도 사각어초의 경우 어초는 약 20 cm정도 묻혀있으며, 부착생물은 1978년 시설된 소형사각어초어장에서와 같이 해면동물, 우렁쉥이가 우점종을 이루고 있었다. 동 어초어장에서의 어류의 위집은 수십미의 볼락치어, 조피볼락등이 관찰되었다. 오곡도 어초어장의 경우 어초의 매물은 거의 관찰되지 않았으며, 부착생물은 해면동물이 주종을 이루고 있었다. 어류의 경우 조피볼락, 쥐노래미 등이 어초에 위집하고 있었다.

각 어초어장에서의 어구걸림과 관련해서는 1978년에 시설된 소형사각어초어장과 1987년에 시설된 곤리도 어초어장에서는 어초에 어구가 걸려 있는 것이 관찰되지 않았으

나, 오곡도 어초어장에서는 통발, 로프, 폐어구 등이 걸려 있어 제거하였다. 통영바다목장 내에 시설된 어초어장에서 어초의 매몰은 거의 일어나지 않았으며, 어초에 어구걸림도 거의 없어 어초어장의 기능을 충분히 발휘하고 있음이 확인되었다.

참 고 문 헌

- Bloom, A.I. and Park, Y.A., 1985. Holocene sea-level history and tectonic movements, Republic of Korea. *Quaternary Research*, 24, 77-84.
- Damuth, J. E., 1980. Use of high frequency(2.5-12kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea a review. *Marine Geology*, 38, 51-95.
- Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957. Brazos river. A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Petrology*, 27: 3-27. Folk, R.L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks*, Hemphill's Austin, Texas, 170pp.
- Galehouse, J.S., 1971. Sedimentation analysis. In: *Procedures in sedimentary petrology*. Carver, R.E. (ed.), Wiley-Interscience. 69-74.
- Ingram, F.L., 1971. Sieve analysis. In: *Procedures in sedimentary petrology*. Carver, R.E. (ed.), Wiley-Interscience.
- Jin, J.H. and Chough, S.K., 1998. Partition of transgressive deposits in the southeastern Yellow Sea: A sequence stratigraphic interpretation. *Marine Geology*, 149, 79-92.
- Kim, C. G., 2001. Artificial reef in Korea, *Fisheries*, American Fisheries Society, Vol. 26, No. 12, 15-18.
- Lee, H.J. and Yoon, S.H., 1997. Development of stratigraphy and sediment distribution in the northeastern Yellow Sea during Holocene sea-level rise. *Journal of Sedimentary Research*, 67, 341-349.
- Park, S.C., Hong, S.K. and Kim, D.C., 1996. Evolution of late Quaternary deposits on the inner shelf of the South Sea of Korea, *Marine Geology*, 131, 219-232.
- Park, Y.A., Khim, B.K. and Zhao, S., 1994. Sea level fluctuation in the Yellow Sea Basin. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 29, 42-49.
- Pratson, L.F. and Laine, E.P., 1989. The relative importance of gravity-induced current-controlled sedimentation during the Quaternary along the mid-Atlantic United-States outer continental margin revealed by 3.5 kHz echo character. *Marine Geology*, 89, 87-126.
- 日本農林水産技術會議事務局. 1989. 海洋牧場, 601-617.
- 김대철, 김길영, 1991. 광양만 미고결퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질: 북태평양 대륙붕 및 사면자료와의 비교. *한국수산학회지*, 24: 289-302.
- 김길영, 성준영, 김대철, 김정창, 1994. 여수해만 주변해역퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질. *한국수산학회지*, 27: 434-444.

- 김승우, 김종수, 이윤오, 공영세, 이치원, 민건홍, 박영수, 최계림, 1986. 연근해저 지질조사 연구 (남해-거제도해역), 한국동력자원연구소 조사연구보고서, KR-86-20, 7-52.
- 민건홍, 1992. 한국 남해대륙붕의 현세 해침에 따른 퇴적층과 퇴적기구. 한국퇴적학연구그룹 특별논문집; 한반도와 주변해역의 퇴적분지, 한림원, 서울, 1-21.
- 성준영, 1994. 남해 대륙붕 퇴적물의 퇴적환경과 음향모델. 석사학위논문, 부산수산대학교 114pp.
- 신원철, 김원식, 이원영, 박근필, 최완실, 1986. 해양물리탐사연구(남해도-거제도간 해역), 동력자원연구소 연구보고서, KR-86-20, 79-128.

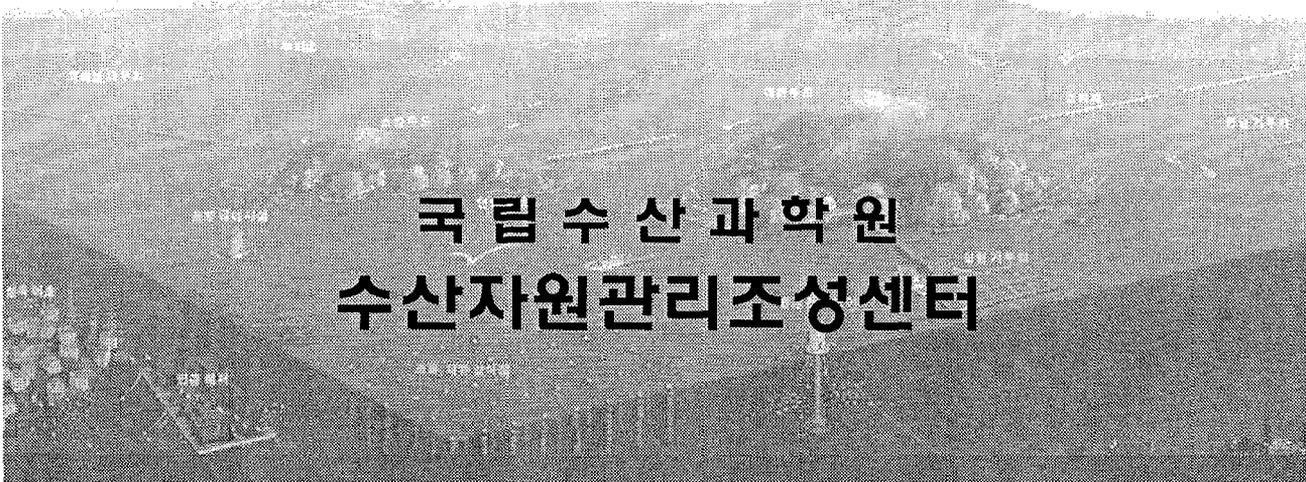
통영해역 바다 목장화 연구 개발 용역사업 보고서

- 인공어초 조사

Studies on the Development of Marine
Ranching Program in Tongyeong, Korea

- Survey of artificial reefs

2004. 6



국립수산과학원
수산자원관리조성센터

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 『2003 통영해역의 바다 목장 연구개발 용역 사업 보고서』 중 “어초조사” 의 보고서로서 제출합니다.

2004. 6

주관 연구기관 : 한국해양연구소

총괄 연구 책임자 : 김종만

협동연구기관 : 국립수산과학원

세부과제 책임자 : 김창길(어초조사 연구)

연구원

국립수산과학원 : 김창길, 김호상, 백철인, 정도훈, 손병규, 정달상, 노
치홍, 김연진, 태종완

한국해양연구원 : 김종만, 명정구, 박용주

요 약 문

본 연구는 통영바다목장 조성지 내의 인공어초 시설에 필요한 자료를 확보하고자 수행하였다. 조사는 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매물특성조사, 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상인 지역에 어초를 시설하기 위한 탄성과 조사, 수심 40 m 이상의 지역에 시설될 어초의 구조형태, 배치형태, 그리고 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사 등 4부분으로 구성된다. 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매물특성조사는 Side Scan Sonar를 이용하였고, 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상인 지역의 어초 시설을 위한 탄성과 조사는 Site A(34°46.767', 128°22.167', 34°46.000', 128°23.133'), Site B(34°47.900', 128°20.550', 34°46.000', 128°21.667'), Site C(34°45.967', 128°21.917', 34°45.217', 128°22.917'), Site D(34°47.783', 128°21.047', 34°47.083', 128°22.047') 등 4개 지역이며, 동 조사 지역에 대한 시설적지는 저질의 조성, 저질의 전단강도 및 지층탐사의 결과로부터 평가하였다. 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사 Side Scan Sonar 자료를 이용하여 분석하였다.

바다목장 조성지 200 km² 내에 시설된 연구용 어초는 재질별로는 강재어초가 10종, 콘크리트어초가 6종, 폴리프로필렌 어초가 2종, 목재 1종, 기타 6종 등 모두 25종으로 확인되었다. 한편, 통영바다목장 조성지에 시설된 연구용 어초 시설량은 사각어초 (2×2×2 m)를 제외하면 329개이며, 안정된 상태로 시설되어 있었다. 통영바다목장내의 수심 40 m 이상인 시설 예정지역에 적지조사 결과는, Site A에서 전단응력 1.28~12.09 kPa의 범위로 나타났으며, Site B는 1.28~5.47 kPa, Site C지역 1.28~4.58 kPa, Site D 지역은 1.28~1.71 kPa이었다. 통영 바다목장 내의 40 m 내에 시설될 어초의 적정 구조로는 지금까지 개발된 인공어초와 달리 특정 어종 (조피볼락, 참돔) 생태 및 저질 등 서식환경에 적합한 구조가 바람직하다고 판단된다. 인양된 콘크리트어초의 코아의 압축강도는 25년 경과한 어초는 9.9 N/mm², 23년의 것은 15.0 N/mm², 21년과 18년 경과한 어초는 12.2, 21.4 N/mm²를 각각 나타내었다. 철근부식의 경우 수심 30~40 m의 깊이에서 25년에서 18년간 경과된 콘크리트어초의 철근 위치별 전위 값 580~720 mV 정도였으며, 경과연도가 많을수록 값이 크게 나타났다. 기존에 시설된 어초지역에 대한 시설량 보강과 관련하여 1981년 이전까지 시설된 소형 사각어초어장의 집중적으로 시설된 곳에 대해서는 기존 시설된 곳으로부터 100 m 이내에 16 ha 1개소에 800 m²씩 2~3개소, 1981년 이후부터 시설된 어초어장에 대해서는 1~2개소를 보강 시설하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

Summary

This study was carried out to give informations on the installation of artificial reefs at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. The investigation composed of four parts; survey of location and settlement of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area, subbottom survey for installation of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching area, suitable structure and deployment of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching area and rebuilding method of artificial reefs which more than 20 years have passed since installation at Tongyeong marine ranching area. Survey of location and settlement of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching areas was made by Side Scan Sonar. Subbottom survey for installation of artificial reef was carried out at four sites; Site A(34°46.767', 128°22.167', 34°46.000', 128°23.133'), Site B(34°47.900', 128°20.550', 34°46.000', 128°21.667'), Site C(34°45.967', 128°21.917', 34°45.217', 128°22.917'), Site D(34°47.783', 128°21.047', 34°47.083', 128°22.047'). Site selection was made based upon the condition of reef settlement like the compositions of sediment, acoustic profile of geological stratum and their shear strength. Strength of concrete reefs installed at Tongyeong marine ranching area was measured by the destructive methods, i. e. the core strength. Corrosion of steel bar was evaluated by Half-Cell Potentials of reinforcing steel in concrete.

The number of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area are 329. Type of reef structures was 25 modules; six concrete reefs, 10 steel reefs, two polypropylene reefs and seven miscellaneous reefs. The shear strength of sediment of Site A ranged from 1.28~12.09, 1.28~5.47 kPa in Site B, 1.28~4.58 kPa in Site C and 1.28~1.71 kPa in Site D. These results mean that three sites, Site A, C and D, are suitable sites for reef installation. It is recommended that the suitable modules of reef for creation of marine ranching area is the complexed structure for both rockfish and porgy. The average core strength of 18-, 21-, 23- and 25-year-old reinforced concrete reefs were 170, 138, 149, and 148 kgf/cm², respectively. Corrosion of steel bars in concrete reefs was not found. Also, it was confirmed that the steel bars were passive by their average potentials, which ranged from -681 to -549 mV at the depth of 23 to 45 mm from concrete surface. Meanwhile, the maximum reef set for rebuilding of reef ground is estimated to be ;

Contents

1. Introduction
2. Material and method
 - A. Survey of location and settlement of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching areas
 - B. Subbottom survey for installation of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching areas
 - (1) Subbottom survey
 - (2) Sampling collection by gravity corer
 - (3) Collection of location data
 - (4) Analysis of sediments
 - C. Suitable structure and deployment of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching areas
 - D. Rebuilding method of artificial reefs which more than 20 years have passed since installation at Tongyeong marine ranching areas
3. Results and Discussion
 - A. Survey of location of artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching areas
 - B. Subbottom survey for installation of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching areas
 - (1) Subbottom survey
 - (a) Site A
 - (b) Site B
 - (c) Site C
 - (d) Site D
 - (2) Sampling collection by gravity corer
 - (a) Site A
 - (b) Site B
 - (c) Site C
 - (d) Site D
 - (3) Analysis of sediments
 - (a) Site A
 - (b) Site B
 - (c) Site C

(d) Site D

C. Suitable structure and deployment of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching areas

(1) Suitable reef structure

(2) Deployment of reef for creation of Tongyeong marine ranching

(a) Calculation of reef scale

(b) Maximum deployment of reef

D. Rebuilding method of artificial reefs which more than 20 years have passed since installation at Tongyeong marine ranching areas

(1) Survey of reef function installed at Tongyeong marine ranching areas

(a) Strength of concrete reef

(b) Corrosion of steel bar in concrete reef

(2) Rebuilding method of artificial reefs which more than 20 years have passed since installation

4. Conclusions

A. Survey of location of artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching areas

B. Subbottom survey for installation of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching areas

C. Suitable structure and deployment of artificial reef in a depth of more than 40m

D. Rebuilding method of artificial reefs which more than 20 years have passed since installation at Tongyeong marine ranching areas

(1) Survey of durability of reefs which more than 20 years have passed since installation

(2) Rebuilding method of artificial reefs which more than 20 years have passed since installation

목 차

요약문	i
Summary	ii
표 목차	vi
그림 목차	vi
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	2
1. 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매물특성조사	2
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상의 지역에 어초시설을 위한 탄성파 조사	2
3. 수심 40 m 이상의 지역에 시설될 어초의 구조형태, 배치형태	18
4. 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사	18
III. 결과 및 토의	21
1. 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매물특성조사	21
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상의 지역에 어초시설을 위한 탄성파 조사	21
3. 수심 40 m 이상의 지역에 시설될 어초의 구조형태, 배치형태	35
4. 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사	47
IV. 결 론	54
1. 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매물특성조사	54
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상의 지역에 어초시설을 위한 탄성파 조사	54
3. 수심 40 m 이상의 지역에 시설될 어초의 구조형태, 배치형태	55
4. 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사	56
참고문헌	57

<표차례>

표 1. 어초 시설상태 조사에 사용된 Side Scan Sonar (SS-100)의 사양 4
표 2. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사 지역의 좌표 5
표 3. 해저지층탐사기의 제원 6
표 4. Beacon 수신기의 제원 16
표 5. ASTM에 의한 부식 평가기준 20
표 6. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초의 시설 위치 22
표 7. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초의 크기 및 수량 27
표 8. 인공어초 시설 예정지의 저질입도 및 전단강도 40

<Tables>

Table 1. Specifications of Side Scan Sonar (SS-100) used to the survey 4
Table 2. Location coordinates of acoustic profile survey for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea 5
Table 3. Specifications of Chirp Subbottom Profiler system 6
Table 4. Specification of transducer of Beacon 16
Table 5. Estimation of Half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete by American standard test method 20
Table 6. Locations of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. 22
Table 7. Size and quantity of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in province of Kyongnam, Korea. 27
Table 8. Grain compositions and its shear strength of vertical sediment collected at the expected area of artificial reef installation by gravity corer 40

<그림차례>

그림 1. 통영해역 바다 목장화 조성지. 3
그림 2. 어초 시설상태 조사에 사용된 Side Scan Sonar (SS-100). 3
그림 3. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사지역. 7
그림 4. 바다목장 조성지 내의 A, B지역에서 코어시료 채취 위치. 8
그림 5. 바다목장 조성지 내의 C, D지역에서 코어시료 채취 위치. 9
그림 6. 지층탐사기 본체(상), 구성품 (하). 10
그림 7. 지층탐사기의 Tow Vehicle. 11
그림 8. 해저지층탐사기 Tow Vehicle의 운용광경. 12

그림 9. 주상시료를 채취하는데 사용된 중력시추기.	13
그림 10. 주상채니기로 시료를 채취하는 장면.	14
그림 11. 회수된 중력시추기로부터 주상시료를 획득하는 과정.	15
그림 12. DGPS 수신기(GBX-PRO) 사진(상) 및 수신기 안테나(하).	17
그림 13. Hypack MAX의 소프트웨어 화면.	17
그림 14. 코어채취 광경.	19
그림 15. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초의 시설 위치도.	26
그림 16. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초.	28
그림 17. 곤리도와 대장두도 사이에 위치한 지역 A의 탄성과 단면도.	36
그림 18. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도.	37
그림 19. 부도와 소장두도 사이에 위치한 지역 A의 탄성과 단면도.	38
그림 20. 수암산과 곤리도 사이에 위치한 지역 A의 탄성과 단면도.	39
그림 21. 인공어초 시설 예정지의 퇴적물 유형 삼각다이어그램.	42
그림 22. 패류용 어초 시설 예.	44
그림 23. 어초군의 시설 예(바둑판 형 배치도).	45
그림 24. 어초군의 시설 예(마름모형 배치도).	45
그림 25. 인공어초 군의 시설 예(깎때기형 배치도).	46
그림 26. 강제 침선어초와 콘크리트(강제) 어초와의 조합한 시설 예.	47
그림 27. 콘크리트 중형사각어초(2×2×2 m) 외관조사 광경.	48
그림 28. 반발강도 시험(Schmidt Hammer Test) 및 코어에 의한 압축강도.	48
그림 29. 25년 경과 된 콘크리트어초의 철근위치별 전위 값.	50
그림 30. 23년 경과 된 콘크리트어초의 철근위치별 전위 값.	50
그림 31. 21년 경과 된 콘크리트어초의 철근위치별 전위 값.	51
그림 32. 18년 경과 된 콘크리트어초의 철근위치별 전위 값.	51
그림 33. 25년 경과한 콘크리트어초의 철근 상태.	52
그림 34. 23년 경과한 콘크리트어초의 철근 상태.	52

<Figures>

Fig. 1. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.	3
Fig. 2. Side Scan Sonar (SS-100) used to the observation of artificial reefs.	3
Fig. 3. Locations of acoustic profile survey for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.	7
Fig. 4. Locations of collecting coar samples for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. Site A and B indicate survey areas.	8
Fig. 5. Locations of collecting coar samples for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. Site C and D indicate survey areas.	9
Fig. 6. Main body (the upper) and its components (the lower) of Chirp Subbottom Profiler.	10
Fig. 7. Tow Vehicle of Chirp Subbottom Profiler.	11
Fig. 8. Operating view of tow vehicle of Chirp Subbottom Profiler.	12
Fig. 9. Gravity corer used in collecting core samples.	13
Fig. 10. Views of collecting core samples by gravity corer.	14
Fig. 11. Views preparing samples for analysis of their compositions after collecting core samples by gravity corer.	15
Fig. 12. Main body and antenna of GBX - PRO, Differential Global Positioning System.	17
Fig. 13. Display view by software of Hypack MAX.	17
Fig. 14. Viewing of pulling out coar from concrete reef.	19
Fig. 15. Locations of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.	26
Fig. 16. Experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.	28
Fig. 17. Acoustic profile of site A situated between Konri-do and Daejangdo-do in the province of Kyongnam, Korea.	36
Fig. 18. Acoustic profile of site A situated in the west of Konri-do in the province of Kyongnam, Korea.	37
Fig. 19. Acoustic profile of site A situated between Bo-do and Sojangdo-do in the province of Kyongnam, Korea.	38
Fig. 20. Acoustic profile of site A situated between Suamsan and Gonri-do in the	

province of Kyongnam, Korea.	39
Fig. 21. Triangular diagram of the sediment type collected at the expected area of artificial reef installation by gravity corer.	42
Fig. 22. Example of artificial reef creation for shellfish.	44
Fig. 23. Example of deployment of artificial reef group (Paduk board type).	45
Fig. 24. Example of deployment of artificial reef group (Diamond type).	45
Fig. 25. Example of deployment of artificial reef group (Funnel type).	46
Fig. 26. Example of fishing ground creation by combination steel sunken boats with concrete (steel) fishing reefs.	47
Fig. 27. Viewing of observing the surface of a medium concrete reef (Dice).	48
Fig. 28. Comparison of strengths of concrete reef by Schmidt Hammer Test and core test.	48
Fig. 29. Potential of steel bar in 25-year-old concrete reef.	50
Fig. 30. Potential of steel bar in 23-year-old concrete reef.	50
Fig. 31. Potential of steel bar in 21-year-old concrete reef.	51
Fig. 32. Potential of steel bar in 18-year-old concrete reef.	51
Fig. 33. Conditions of steel bar in 25-year-old concrete reef.	52
Fig. 34. Conditions of steel bar in 23-year-old concrete reef.	52

I. 서론

바다목장화 조성의 목적은 바다의 생산력을 충분히 이용하거나 그 해역의 생산기구를 재편함으로써 어장을 종합화하고, 생산의 효율화를 도모하여 대상 종의 생산력을 향상시키는 데 있다. 유용종의 생산 증강을 도모하기 위해서는 먼저 그 해역에 있어서 수용력이 문제가 되며, 원칙적으로는 바다의 수용력은 시간적 측면에서 보면 변동하는 것이지만, 그때 당시의 바다의 물리적 환경과 생물간의 경쟁에 의해서 포화상태로 되는 과정에서 균형을 유지하려고 한다.

따라서 그 해역에서 특정의 종을 증가시켜 새로운 바다의 생물환경을 조성하기 위해서는 인위적인 수용조건의 개량이 필요하다. 그의 대표적인 방법의 하나로는 어떤 해역에서의 시간적, 공간적 어업생산의 미이용 부분을 유효하게 이용하는 것이다. 이것에 대한 주요한 접근 방법으로는 대상해역을 적극적(직접적)으로 이용하는 방법인 자원첨가 이용형과 소극적(간접적) 이용방법인 잠재자원 이용형을 들 수 있다(日本農林技術會事務局, 1989). 전자는 미이용 자원을 증강하고자 할 경우에는 현재의 연쇄계의 수용력 안에서 자원을 투입(종묘방류)한다든지, 수용력의 일부를 공간적으로 구획하고 먹이를 투입하여 양식종을 육성(양식)하는 방법을 말한다. 한편, 후자는 현행 연쇄계를 인위적 수단에 의해서 확대한다든지, 혹은 기초생산력을 증강함으로써 간접적으로 자원의 증가를 도모하는 방법을 말한다. 하지만, 어떤 방법으로 대상해역을 개발하여 이용할 것인가에 대한 것은 해역마다 특성이 다르기 때문에 일률적으로 적용하기는 어려우며, 대상해역을 잘 파악하여 그 해역의 특성에 적합한 어장조성 개발방법을 도입해야 한다.

통영해역은 서식 어종이 풍부하여 낚시, 통발, 자망 등 다양한 어법이 행하여지고 있으며, 삼중자망, 소형기선저인망 등에 의한 불법 어업도 빈번한 곳이다. 또한, 육지로부터 각종 오염물질이 유입되어 오염으로 인해 해역의 생산력이 크게 저하되어 있다. 이러한 어업실정을 감안할 때 통영해역 바다목장화의 조성에 필요한 기술로는 자원잠재력 이용형에 자원첨가 이용형을 가미한 복합형이 적합하다고 판단된다. 즉, 해역의 기초 생산력을 증가시켜 해역내의 서식 어종의 재생산력의 증강을 도모하는 자원잠재력 이용형에 해역에 서식하고 있는 어종을 대상으로 종묘를 인공적으로 생산하여 방류함으로써 보다 짧은 기간에 자원을 증대시킬 수 있는 자원첨가 이용형의 방법으로 보완한 복합형 기술이다. 전자는 통영해역에 출현하는 어종에 대해 서식 생태 습성을 파악하여 이들 어종의 서식에 필요한 먹이 생물 증대, 산란장 및 자치어 보육장 조성, 어획강도 저하 등을 위해 현행 연쇄계를 인위적 수단으로 개선시켜 산란에서 자치어 및 성어에 이르기까지 자원의 재생산력을 높이는 기술이다. 또한 후자는 통영해역에 서식하는 어종으로서 최근에 급격히 자원량이 감소한 어종을 선택하여 인공적으로 생산한 종묘를 방류하여 짧은 기간 내에 자원을 증강시키는 기술이다. 종묘방류 어종과 관련해서는 양식 어종으로 널리 이용되

는 비교적 고급 어종인 조피볼락을 주 대상 어종으로 선정하였다.

통영해역 바다 목장 개발 연구는 1998년부터 시작하였으며, 2000년까지는 바다 목장 조성에 필요한 기반조사를 실시하였다. 그리고 2001년부터 2004년까지는 조사된 자료를 토대로 바다 목장조성에 필요한 관련 기술을 적용하고 동 기술을 타 해역 바다 목장 조성 시 적용할 수 있도록 수행 과정에서 나타난 문제점을 분석하고 관련 기술을 향상시켜 나아갈 예정이다. 2003년에는 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매몰 특성조사, 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상의 지역에 어초시설을 위한 탄성과 조사, 수심 40 m 이상의 지역에 시설될 어초의 구조형태, 배치형태 제시, 그리고 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사 등 4개의 항목에 대하여 조사를 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매몰 특성조사

바다목장 조성지 20 km² 내의 시설된 연구용 어초에 대하여 Side Scan Sonar를 이용하여 시설 위치, 수량, 높이 및 면적, 배치간격, 및 매몰상태를 조사하였다(그림 1). 조사에 사용된 Side Scan Sonar는 SS-100(그림 2)이며, 사양과 관련해서는 펄스간격은 100~400 ms, 발신주파수는 400 kHz, 스캔 폭은 30~800 m 이다(표 1).

조사는 기존 도상자료를 기초로 하여 실시하였고, 어초의 시설위치, 수심, 저질을 분석하여 어초의 시설도, 수심도, 저질분포도를 작성하였다. 연구용 어초의 시설위치 확인은 Side Scan Sonar로 정확한 경위도를 표시하고, 정도 높은 위치 확보를 위해 Side Scan Sonar의 좌우 주사 폭은 50 m 까지로 하여, 어초의 실제 높이를 계산하였다. 수심 측정은 음향측심기 등으로 실시하였고, 실측자료는 인근 조위관측소 등의 자료를 이용하여 기준 수위면을 보정하여 수심도를 작성하였다. 저질은 연구용 어초가 시설된 조사지역 20여 개소에 대하여(개소당 16점) 180점을 선정하여 시료를 채취하여 분석하였고, 그 결과로저질분포도를 작성하였다. 동 자료를 이용하여 연구용 어초에 대하여 시설위치, 수심, 저질분포의 정보를 일괄 표기하여 종합정보도를 작성하였다. 이와 함께 연구용 어초의 시설 후 매몰여부에 대해서도 검토하였다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상의 지역에 어초시설을 위한 탄성과 조사

통영바다목장 조성지 내에 조피볼락 등 방류한 어류가 어느 정도 성장(미성어, 성

어)한 후, 수온이 하강하는 동계에는 수심이 깊은 곳으로의 이동할 것으로 예상됨으로 수심이 40 m보다 깊은 곳에 대하여 사전조사를 수행하였다. 조사는 어초를 시설한 후 매몰 등이 최소화 될 수 있도록 탄성파에 의한 지층조사에 초점을 두어 실시하였다.

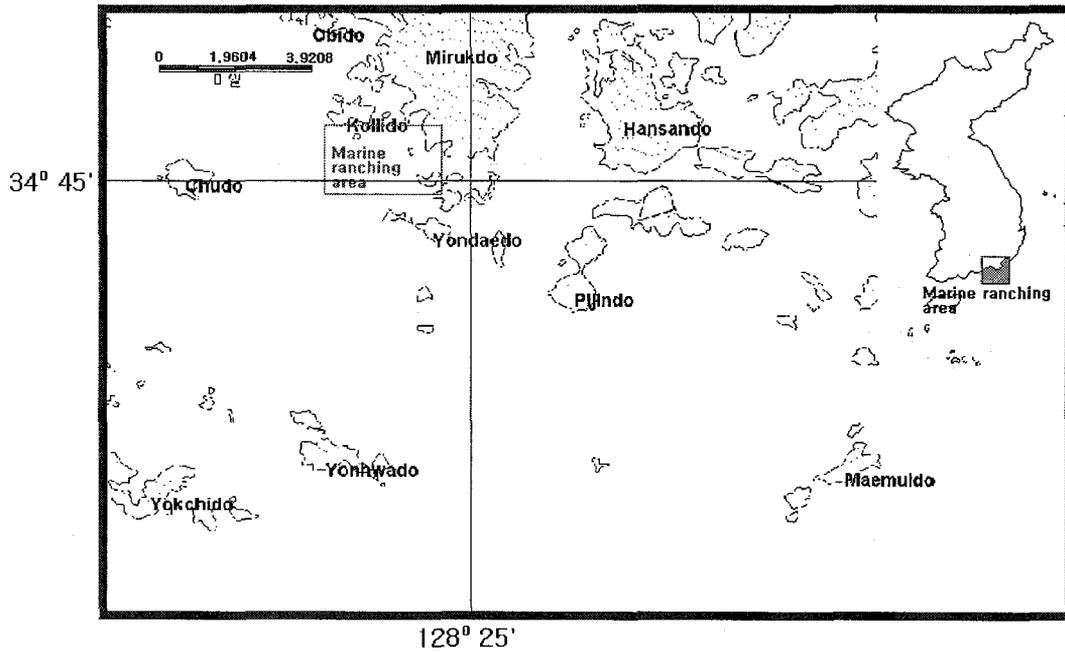


그림 1. 통영해역 바다 목장화 조성지.

Fig. 1. Location of marine ranching area in Tongyeong, Korea.

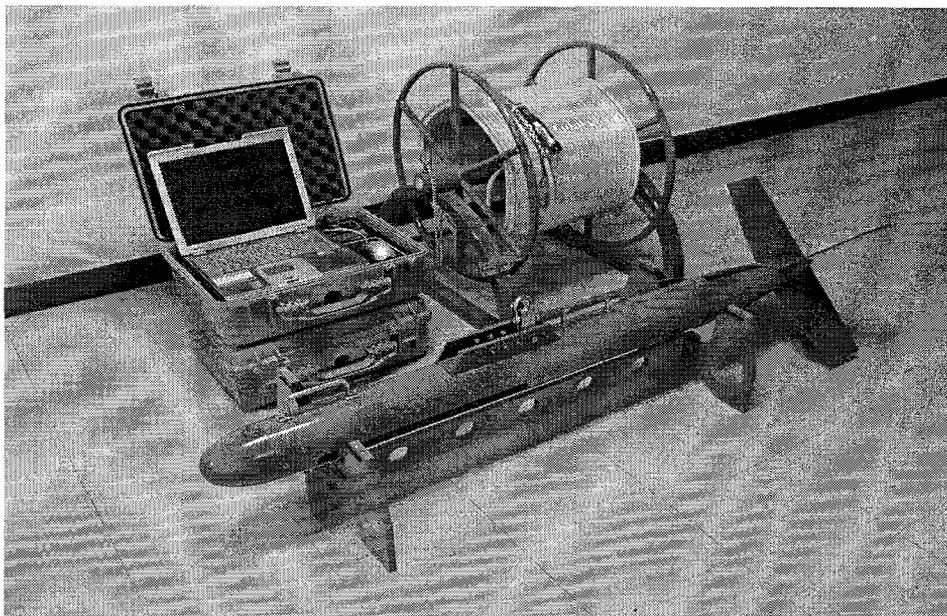


그림 2. 어초 시설상태 조사에 사용된 Side Scan Sonar (SS-100).

Fig. 2 Side Scan Sonar (SS-100) used to the observation of artificial reefs.

표 1. 어초 시설상태 조사에 사용된 Side Scan Sonar (SS-100)의 사양

Table 1. Specifications of Side Scan Sonar (SS-100) used to the survey

사 양 명	규 격
길이×몸통직경(Length×Diameter)	1450×120 mm
공기중 무게(Weight in air)	27 kg
발신 주파수(Output Frequency)	400 kHz
수직 빔폭(Vertical Beam Width)	50°
수평 빔폭(Horizontal Beam Width)	0.5°
펄스 폭(Pulse Length)	20~200 μ s
해상도(Resolution)	7 cm (max)
펄스 간격(Pulse Period)	100~400 ms
스캔 폭(Swath Range)	30~800 m
최대 출력(Maximum Output Power)	1200 W
최적 견인고도(Optimum Altitude)	15 m
운용수심(Water Depth)	100 m (~200 m)
견인속도(Towing Speed)	6 knots (max)

탄성파에 의한 해저지층 탐색은 4곳(그림 3, 4, 5, 표 2)을 실시하였으며, 조사장소는 곤리도 동측(Site A), 곤리도 서측(Site B), 부도 남측(Site C), 중화 서측(Site D) 등이다. 이들 장소에 대하여 각 2개점을 선정 한 후, Core Sample로 시료를 채취하여 퇴적물의 분포형상, 지층, 저질의 전단강도 등을 조사하였다. 단면도는 조사구역 내의 동서 방향, 남북 방향에 대해 층별 퇴적물로 나타냈다. 탄성파에 의한 탐사는 미국 Datasonics사의 Chirp Acoustic Profiler (CAP-6000W)의 해저지층탐사기를 이용하여 실시하였으며, 주상 시료 채취를 위해 중력시추기(gravity corer)를 사용하여 시료를 채취하였다. 현장에서 채취한 주상시료는 실험실로 옮긴 후 코어절단기를 이용하여 반으로 절개하여 분석을 실시하였다. 분석은 평균입도, 퇴적물 유형 등 퇴적물의 조직과 전단응력을 측정하였다.

가. 탄성파 탐사

본 조사에 사용된 해저지층탐사기는 주파수대가 고주파수대역(2~7 kHz)으로 투과력은 작으나(수십 m) 분해능이 우수한(수십 cm) 음원을 사용하기 때문에 정밀음파 탐사가 가능하다. 일반적으로 탄성파의 분해도는 파장의 1/4 정도인데 주로 3.5 kHz (퇴적층내에서의

표 2. 바다목장 조성지 내의 탄성파 조사 지역의 좌표

Table 2. Location coordinates of acoustic profile survey for site select of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea

SITE	위도	경도
Site A	34°46.767 ′	128°22.167 ′
	34°46.767 ′	128°23.133 ′
	34°46.000 ′	128°22.167 ′
	34°46.000 ′	128°23.133 ′
Site B	34°47.900 ′	128°20.550 ′
	34°47.900 ′	128°21.667 ′
	34°46.000 ′	128°20.550 ′
	34°46.000 ′	128°21.667 ′
Site C	34°45.967 ′	128°21.917 ′
	34°45.967 ′	128°22.917 ′
	34°45.217 ′	128°21.917 ′
	34°45.217 ′	128°22.917 ′
Site D	34°47.783 ′	128°21.047 ′
	34°47.783 ′	128°22.047 ′
	34°47.083 ′	128°21.047 ′
	34°47.083 ′	128°22.047 ′

음파전달속도를 1,500 m/sec로 가정하면 파장은 42 cm)를 사용하기 때문에 분해능은 약 10 cm 정도로 정밀탄성파 층서 및 퇴적층 분류 등의 연구에 매우 적합하다. 고해상 탄성파 탐사에 의해 얻어진 반사파의 음향학적 특성은 해저면(seafloor)과 그 하부의 심층(subbottom)에서 반사되어 오는 반사면으로 구분되며 반사파의 명확성, 측면연속성, 형태, 해저지형 등 다양한 요소를 고려하여 탄성파의 facies를 구분하게 되며 자료를 해석하게 된다. 본 조사에서도 이 자료를 이용하여 퇴적층의 분포특성 및 채취된 시추퇴적물의 조

직 등에 대한 해석을 실시하였다.

해저지층탐사기의 장비구성은 크게 네 부분으로 나눌 수 있다(표 3). 신호를 제어하는 부분(DSP-602 transceiver)과 제어된 신호를 보내고 받는 부분(TTV-190 Tow Vehicle) 그리고 획득된 신호를 처리(DSP-601 Digital Signal Processor)하고 보여주는 부분(DSP-603 Display)으로 구성되어있다(그림 6, 7). 자료획득은 현장에서 최적의 자료가 얻어질 수 있도록 이득(gain)과 같은 다양한 조건을 변화시키면서 취득하였다. 획득된 자료는 MO-Disk (Magnetic Optical-Disk)에 실시간으로 저장하여 지층분석을 위한 실험실 분석시 재생(Playback) 및 출력(Thermal printer, EPC-9800)에 사용하였다.

표 3. 해저지층탐사기의 제원

Table 3. Specifications of Chirp Subbottom Profiler system

모 델	Chirp Subbottom Profiler (CAP-6000W)
제 작 사	Datasonics
Digital Signal Processor (DSP-601)	Intel 40486 processor 16 bit A/D converter SISI MO-Disk Driver
Transceiver (DSP-602)	Transmit rate : 4 pings/sec. maximum; user-set Transmit pulse length : 5msec. to 50 msec Programmable gain : 0~90 dB in 6 dB increments
Display (DSP-60)	17" Monitor
Tow Vehicle (TTV-190)	Frequency : 2~7 kHz AT-471 Transducer AT-100R8T linear Hydrophone

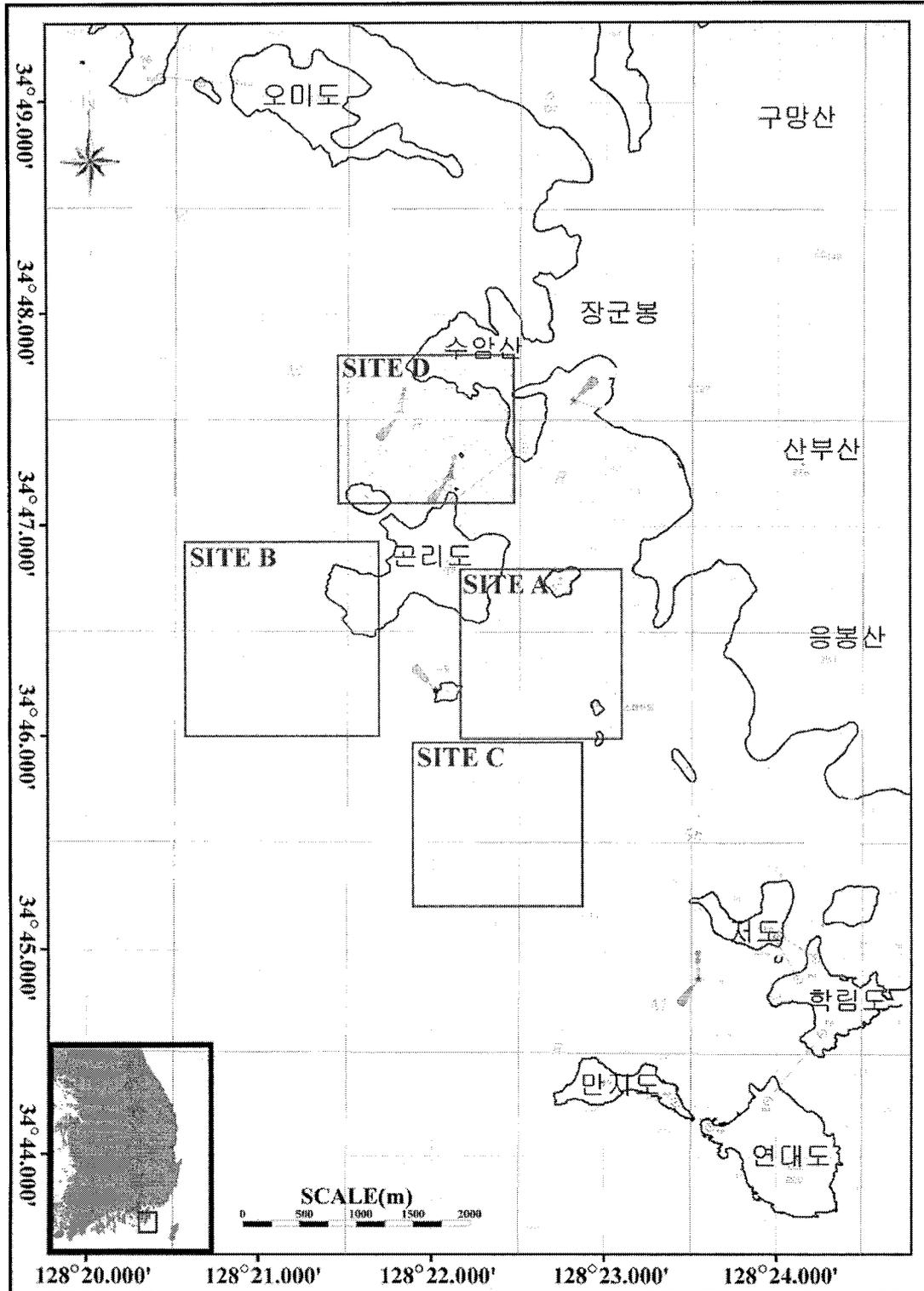


그림 3. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사지역.

Fig. 3. Locations of acoustic profile survey for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.

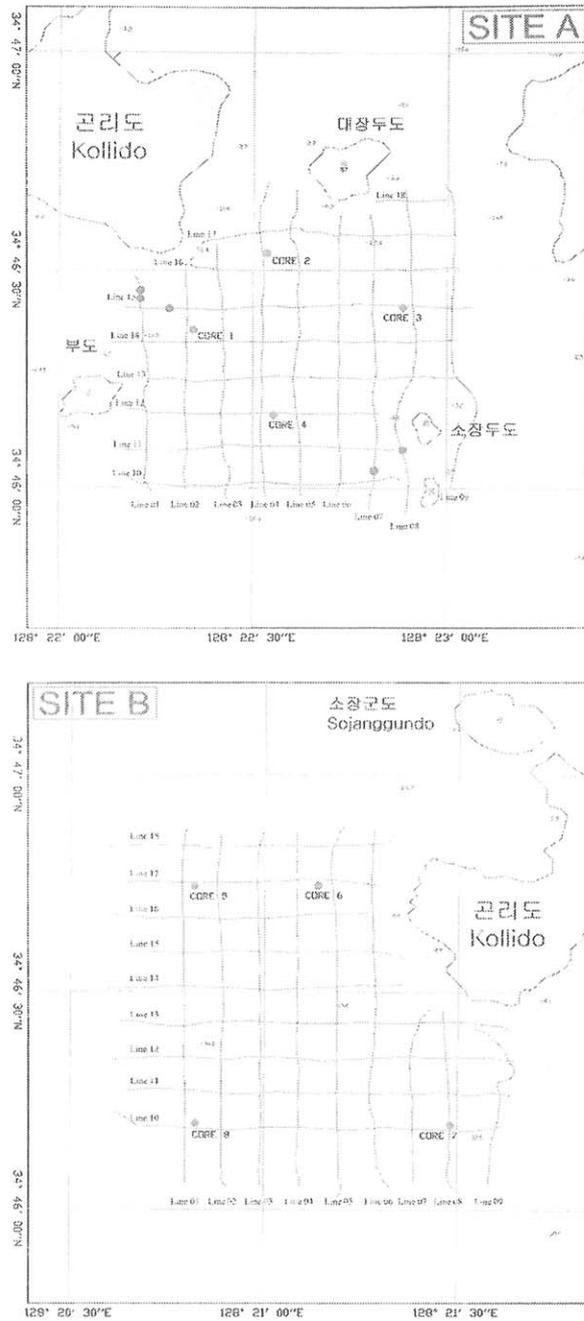


그림 4. 바다목장 조성지 내의 A, B지역에서 코어시료 채취 위치.

Fig. 4. Locations of collecting coar samples for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. Site A and B indicate survey areas.

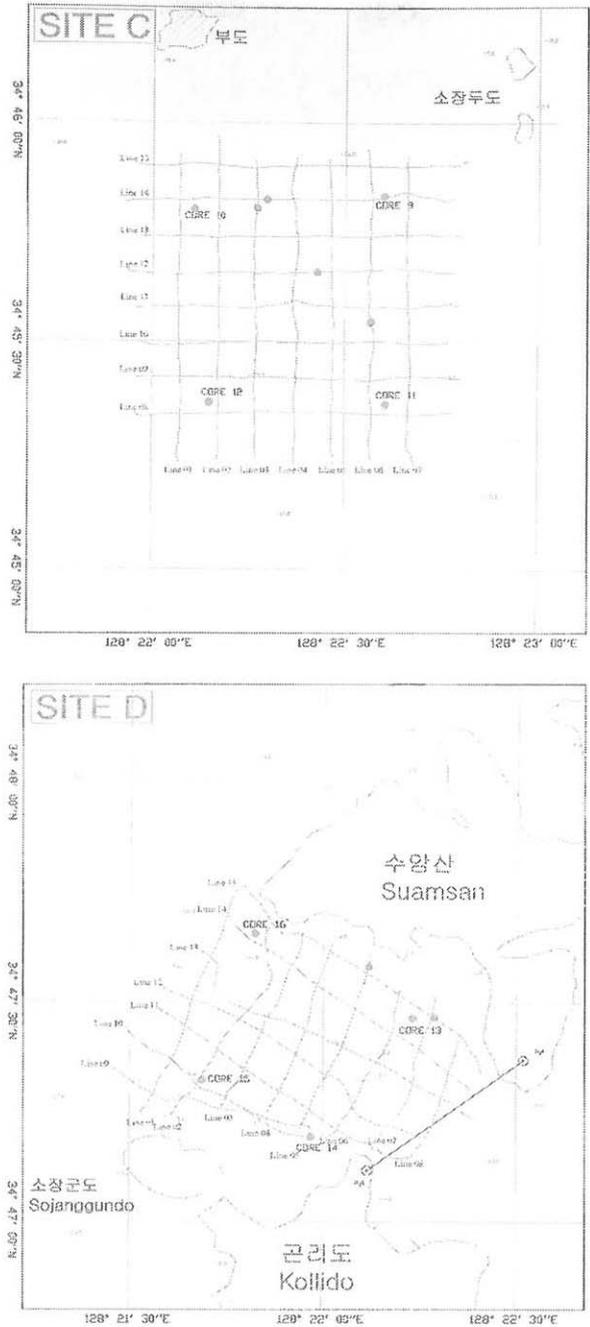


그림 5. 바다목장 조성지 내의 C, D지역에서 코어시료 채취 위치.

Fig. 5. Locations of collecting coar samples for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. Site C and D indicate survey areas.

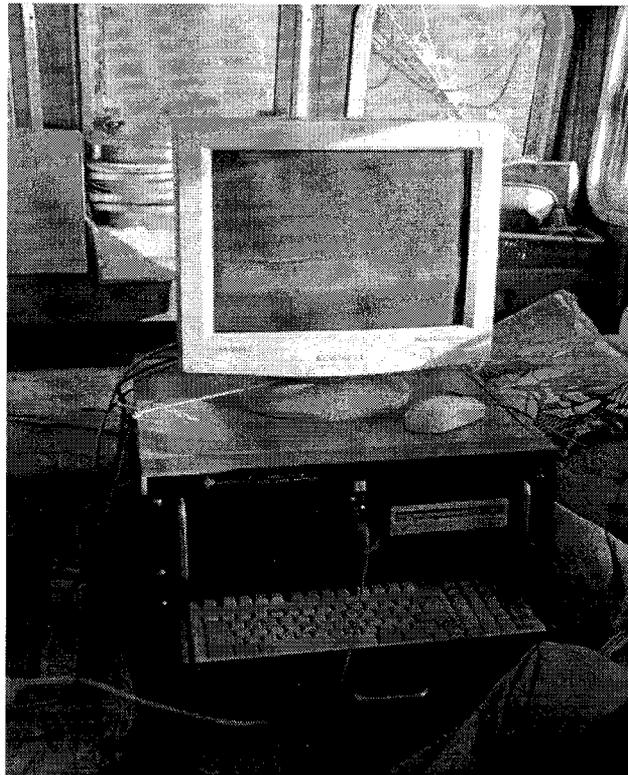
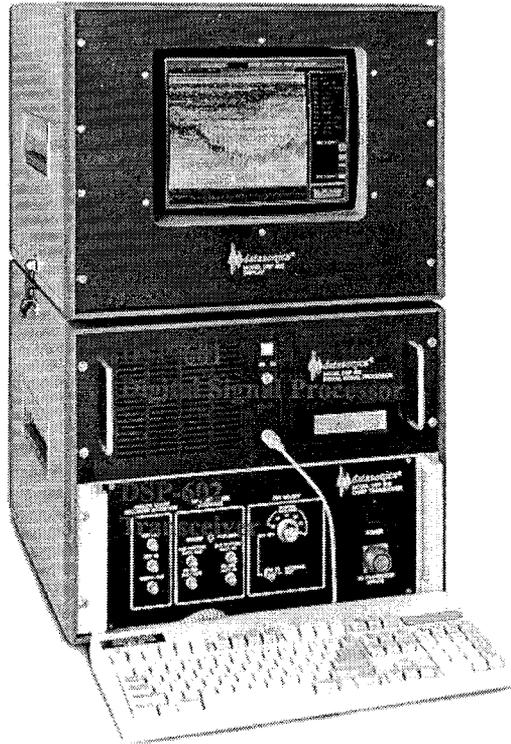


그림 6. 지층탐사기 본체(상), 구성품(하).

Fig. 6. Main body (the upper) and its components (the lower) of Chirp Subbottom Profiler.

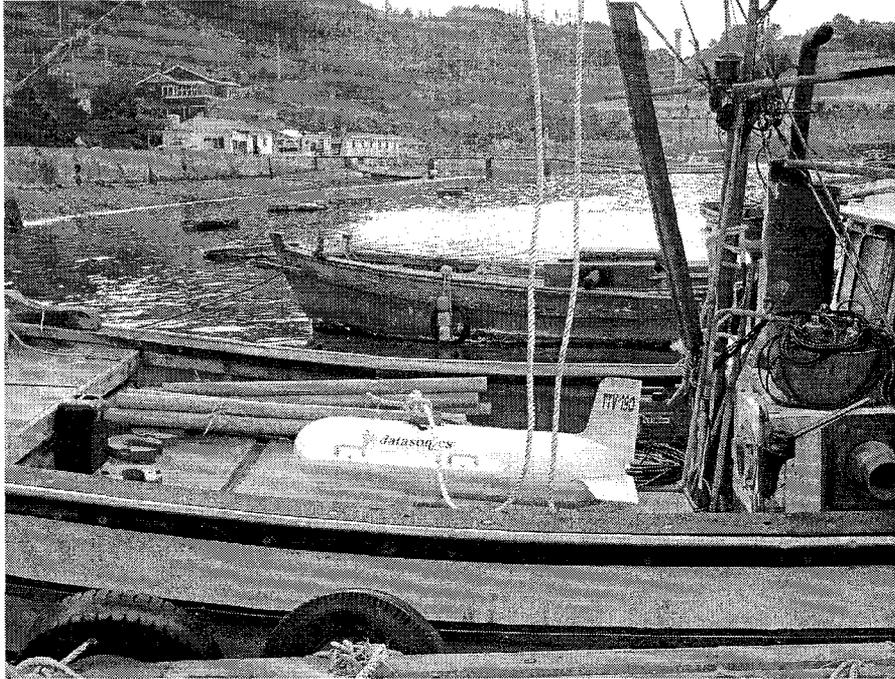


그림 7. 지층탐사기의 Tow Vehicle.

Fig. 7. Tow Vehicle of Chirp Subbottom Profiler.

나. 주상시료채취

주상시료 채취에 사용된 중력시추기(그림 8, 9)는 전체 시추기 무게가 약 170 kg 정도이며 barrel의 길이는 2 m, 시료회수용 PVC파이프(Core liner)는 내부지름이 75 mm 인 것을 사용하였다. 시료채취시 중력시추기가 넘어지는 것을 방지하기 위해 수심을 고려하여 현장에서 적정하게 자유낙하 시점을 조절하였다. 회수된 시료는 밀봉하여 실험실 분석을 위해 운반되었다(그림 10, 11).

다. 위치정보획득

일반적으로 해양에서 수행되는 작업에서 사업목적에 부합하는 정확한 위치정보는 필수적이다. 본 조사에는 관측자료의 위치정보 획득을 위해 beacon형태의 DGPS (Differential Global Positioning System) 수신기(GBX-PRO, CSI)를 이용하였다(표 4, 그림 12). 수신기로부터 획득된 위치정보로 부터 탄성파탐사의 관측선과 시료채취 정점의 정확한 위치 값을 획득하였고, 이를 위해 관측선에 대한 계획, 실측, 자료편집, 자료출력에 널리 사용되는 프로그램 중의 하나인 Hypack MAX(그림 13) 소프트웨어를 이용하였다. 이 소프트웨어는 정확한 관측선 향해에 이용되었으며 탄성파 자료상의 이상체 위치 등을 기록하였다.

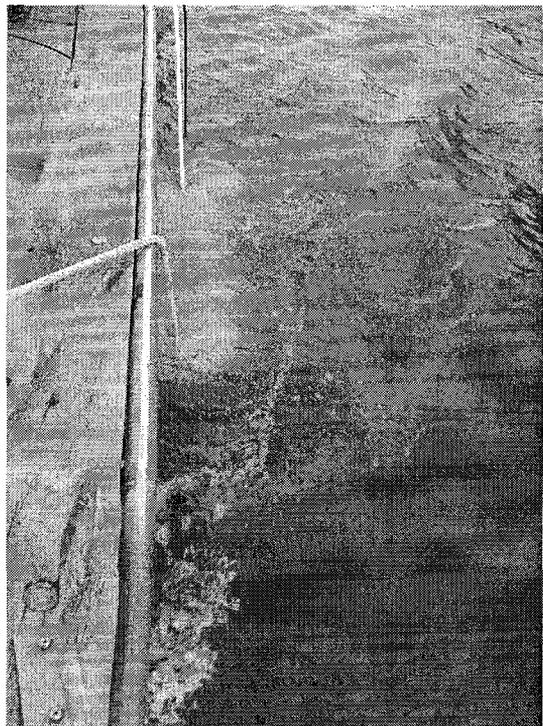
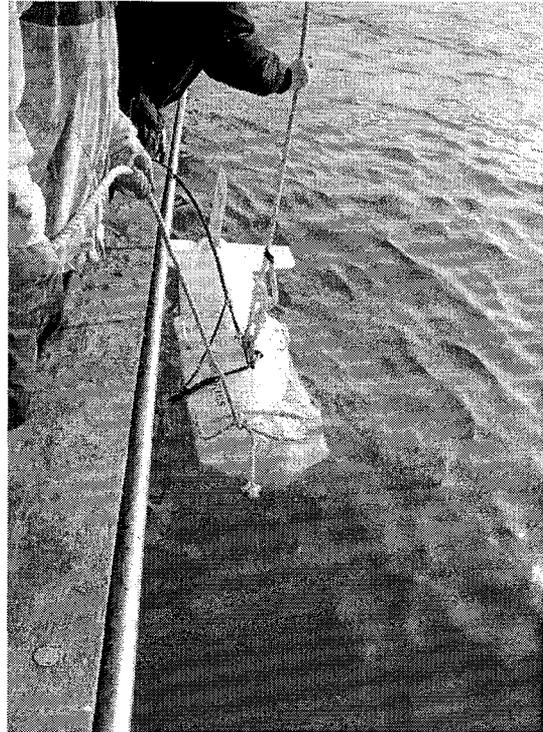
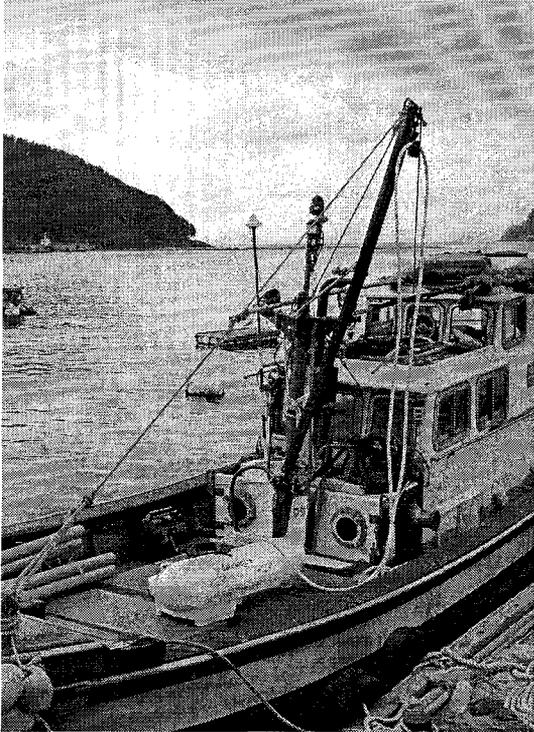


그림 8. 해저지층탐사기 Tow Vehicle의 운용광경.

Fig. 8. Operating view of tow vehicle of Chirp Subbottom Profiler.

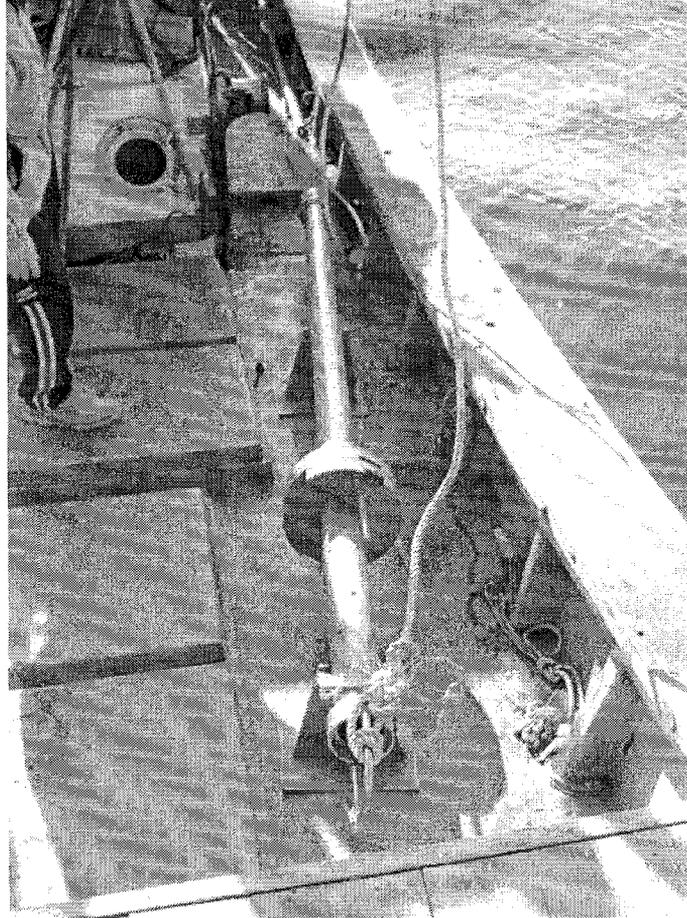


그림 9. 주상시료를 채취하는데 사용된 중력시추기.

Fig. 9. Gravity corer used in collecting core samples.

라. 실험실 분석

채취한 코어는 실험실로 옮긴 후 코어절단기를 이용하여 반으로 절개한 후 분석을 실시하였다. 분석은 퇴적물의 조직(평균입도, 퇴적물 유형 등)과 전단응력을 측정하였다. 퇴적물의 조직은 Ingram (1971) 및 Galehouse (1971)의 방법에 따라 조립질 부분은 체질 분석을 실시하고 세립질부는 피펫방법과 퇴적물 입도 측정기(Model: Sedigraph 5100)를 병행하여 실시하였다. 자료는 Folk and Ward (1957) 및 Folk (1968)의 모멘트 방법에 따라 조직값을 구하였다.

실험방법으로는 저질시료 약 30g을 취하여 증류수로 용해성 염분을 제거한 후, 10%의 과산화수소(H_2O_2)로 유기물을 제거하고, 10% 염산을 첨가하여 탄산염을 제거한 후, 각종 염과 침전물을 여러 차례 증류수로 세척하였다. 세척된 시료는 4 ϕ (0.063 mm)체로 습식 체질을 하였다. 모래 크기 이상인 조립질 부분(4 ϕ , 0.063 mm)은 건조시킨 후, 로탭요동기 (Ro-tap Sieve Shaker)를 사용하여 1 ϕ 간격으로 건식 체질을 한 후에 입도별 중량 백분

비를 구하였다. 세립질부 시료는 피펫방법 및 퇴적물 입도 측정기를 병행하여 실시하였다. 피펫방법은 시료에 확산제(Calgon: Sodium Hexametaphosphate)를 첨가하여 확산이 잘 되도록 충분히 저은 후, 시간별로 피펫팅을 실시하여 건조기(110°C, 24시간 이상) 및 데시게이터를 사용하여 건조시키고 정밀한 전자저울을 사용하여 무게를 달아 분석을 하였다.

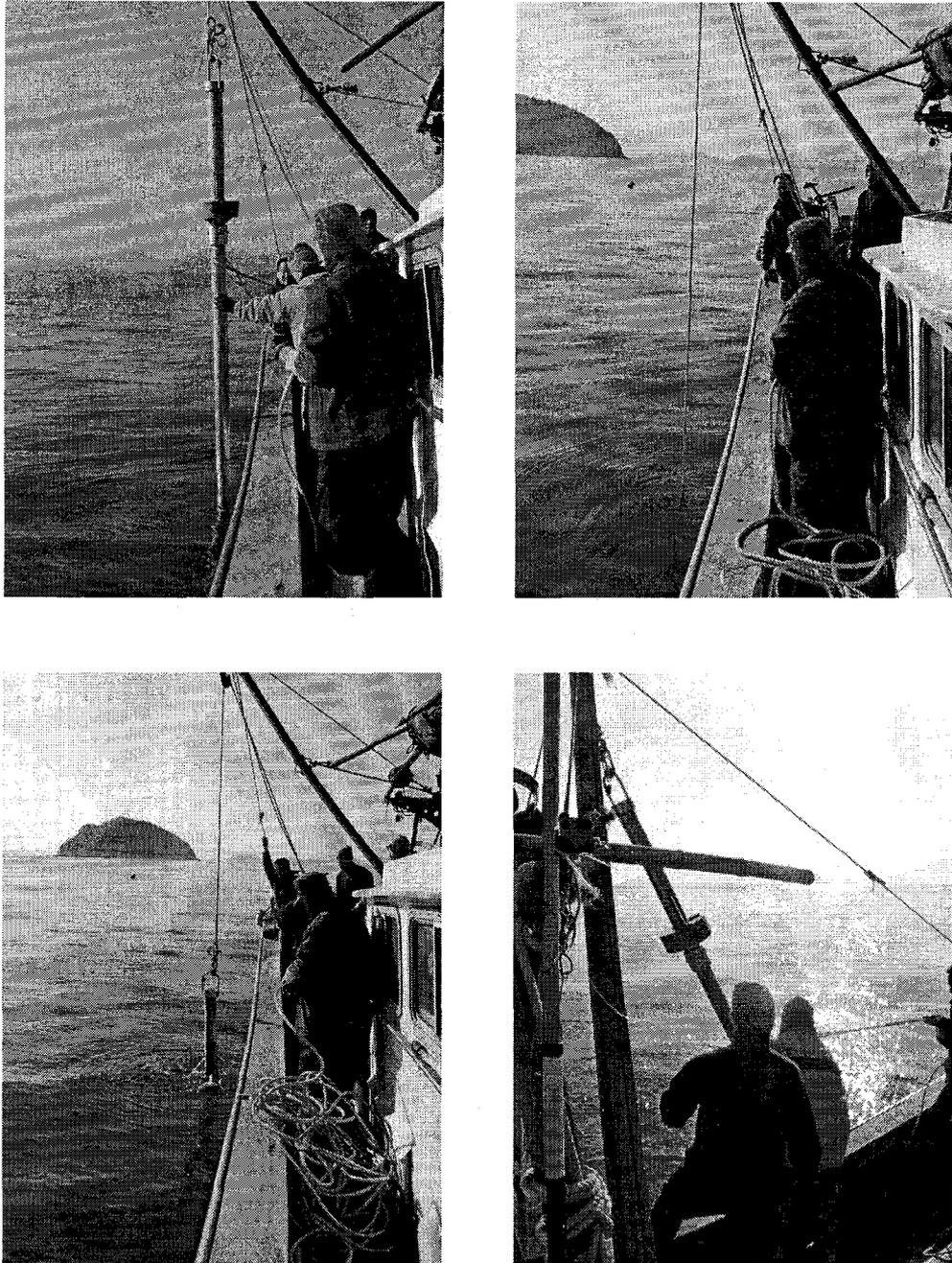


그림 10. 주상채니기로 시료를 채취하는 장면.

Fig. 10. Views of collecting core samples by gravity corer.

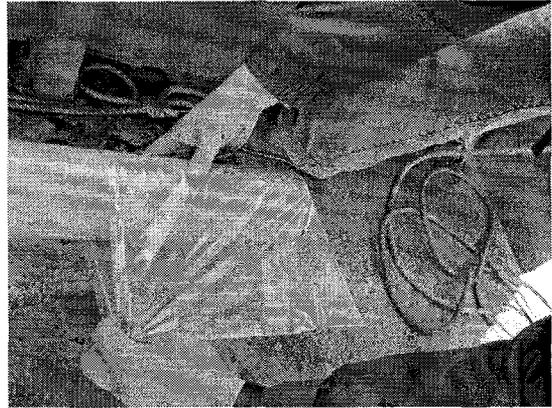
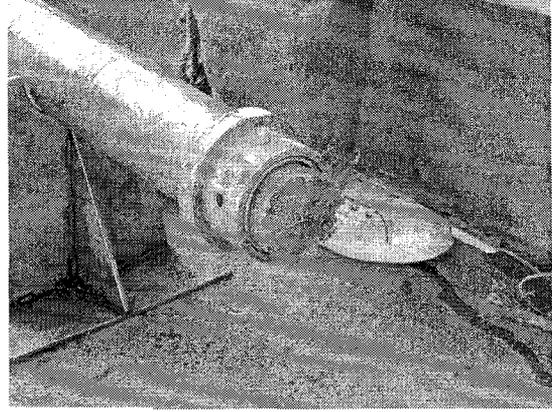
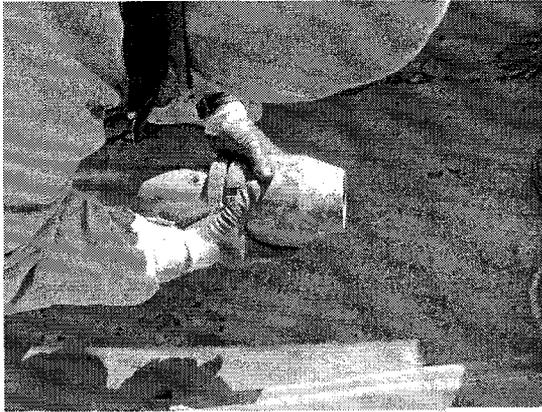
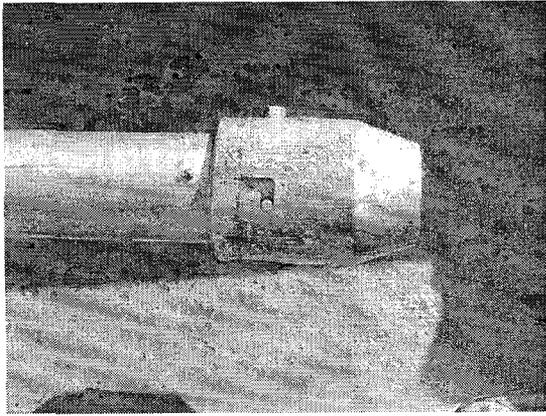


그림 11. 회수된 중력시추기로부터 주상시료를 획득하는 과정.

Fig. 11. Views preparing samples for analysis of their compositions after collecting core samples by gravity corer.

표 4. Beacon 수신기의 제원

Table 4. Specification of transducer of Beacon

모 델	GBX-PRO
제 작 사	CSI, Canada
용 도	항해 관측용 DGPS
사 양	<p>12-Channel L1 C/A Code, carrier smoothed</p> <p>Horizontal Diff. Accuracy : < 1 m (95% confidence)</p> <p>Differential Input : RTCM SC-104</p> <p>Input/Output Messages : NMEA-0183</p> <p>Position Update Rate : up to 5 Hz</p> <p>Raw Data Output Rate : up to 2 Hz (code and carrier)</p> <p>Frequency Range : 283.5 to 325.0 kHz</p> <p>Channel Spacing : 500 Hz</p> <p>MSK Bit Rate : 50, 100, and 200 bps</p> <p>Interface Level : RS-232C</p> <p>Baud Rates : 2400, 4800, 9600</p>

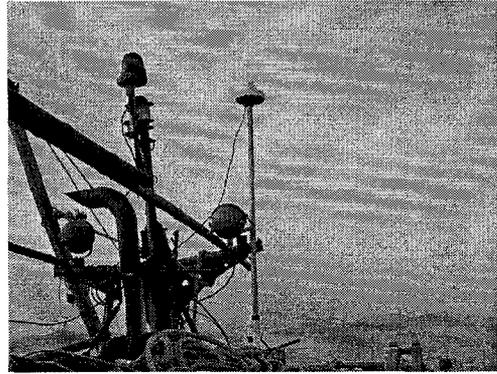
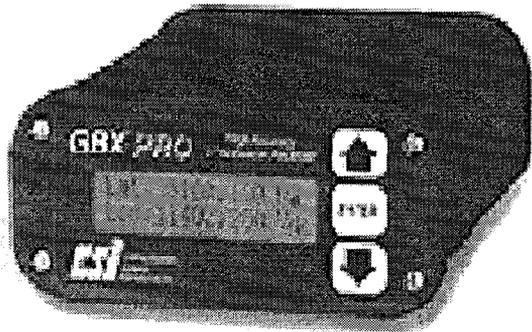


그림 12. DGPS 수신기(GBX-PRO) 사진(상) 및 수신기 안테나(하).

Fig. 12. Main body and antenna of GBX-PRO, Differential Global Positioning System.

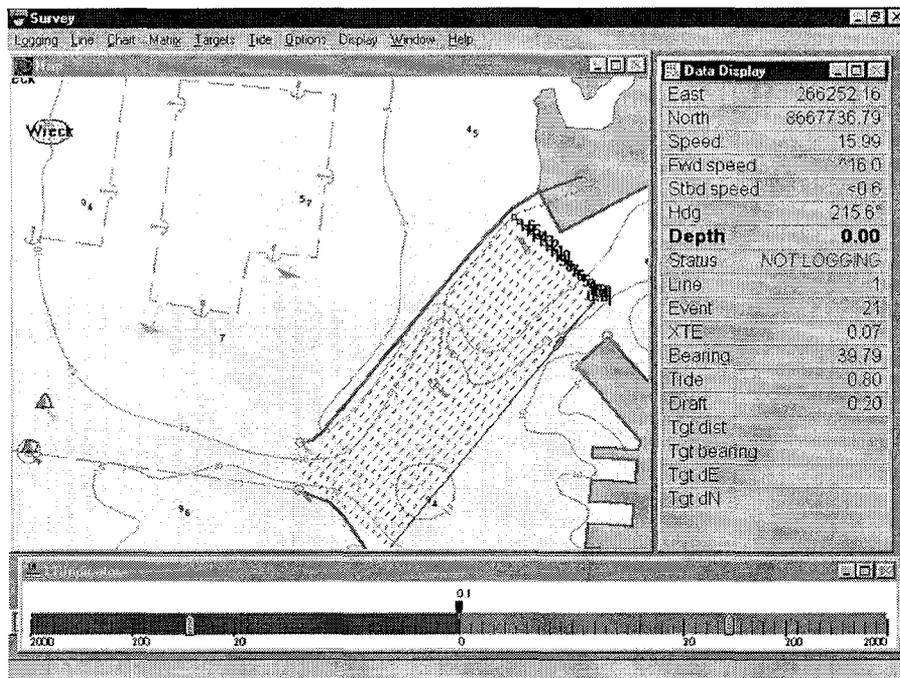


그림 13. Hypack MAX의 소프트웨어 화면.

Fig. 13. Display view by software of Hypack MAX.

퇴적물 입도 측정기는 확산된 시료를 적당량(약 50 ml) 취하여 분석을 실시하였다. 비배수전단응력(Undrained shear strength)은 흔히 hand vane을 사용하여 측정하는 경우가 많은데, 이는 일정한 강도로 지속적으로 vane을 회전시켜야 하기 때문에 실제로는 오차가 많다. 이러한 오차를 최소로 하기 위해서 자동응력 측정장치(Motorized shear vane, Geotest Model 23500)를 사용하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$\text{전단응력}(S) = \frac{M}{K}$$

여기서 M: 시료가 받는 Torque

K: vane의 크기 및 형태에 의해 결정되는 상수

$$[K = \pi D^2 (H/2 + D/6)]$$

여기서, D: vane의 직경, H: vane의 높이

3. 수심 40 m 이상의 지역에 시설될 어초의 구조형태, 배치형태

어초 배치형태는 어초단체의 구조형태, 어초 시설높이, 시설면적, 단위어초의 규모, 단위어초 간에 거리, 천연초와의 관계 등에 따라 어초 시설효과는 크게 달라진다. 본 조사에서는 40 m 보다 깊은 곳에 시설할 어초의 구조, 배치형태를 분석함에 있어 조피볼락과 참돔을 대상으로 하였다.

4. 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사

통영해역 바다목장 내에 시설된 콘크리트 어초 중에 시설 연도가 20년 이상 경과한 어초에 대하여 현재 구조적으로 어떤 상태인가를 조사하여 수명을 예측한 후 재 시설 여부를 평가하고자 하였다. 조사한 어초는 시설 후 25년 경과한 통영시 산양면 곤리도의 한 변이 1 m인 소형 사각어초어장(1978년 시설, 36 ha, 900개)과 23년 경과한 연대도(1980년 시설, 80 ha, 1,290개)의 어초이다. 또한 이들 어초를 비교하기 위해 1982년과 1985년에 시설된 중형 사각어초(2×2×2 m)에 대해서도 함께 조사하였다. 재시설에 대한 평가는 먼저 어초의 기능성을 분석한 후 재 시설 여부를 평가하였다.

가. 통영바다목장 내에 시설된 인공어초의 기능성 조사

본 조사에서 언급하는 어초의 기능성은 생물에게 제공되는 호적한 서식처 제공 기능과 함께 이들 기능이 어느 정도 지속적으로 유지될 것인가에 대한 내구성으로 구분할 수 있다. 본 조사에서는 후자에 대해서만 논하고자 한다. 내구성조사는 외관조사와 상세조사로 나누어 실시하였다. 전자의 항목으로는 물리, 화학적 및 부착생물에 의한 균열 그리고

후자의 항목으로는 물리적, 화학적조사로 나눌 수 있는데, 물리적 조사로는 콘크리트어초의 압축강도와 철근의 부식 및 열화도를 측정하였다. 본 조사에서는 압축강도와 철근의 부식만을 기술하고자 한다.

(1) 콘크리트 강도 조사

콘크리트 어초의 강도조사는 비파괴 시험방법과 코어에 의한 방법(파괴방법)을 사용하였다. 코어의 압축강도 시험은 KS F 2405, 2412, 2422 규정에 의하여 실시하였고, 코어강도의 보정은 콘크리트구조설계기준(한국콘크리트학회·대한건축학회, 1999)에 따라 $\Phi 100 \times 200$ mm 코어를 채취한 경우에는 $\Phi 150 \times 300$ mm 기준의 강도보정계수 0.97 ($\Phi 1$)을 곱하여 보정하였다(그림 14).

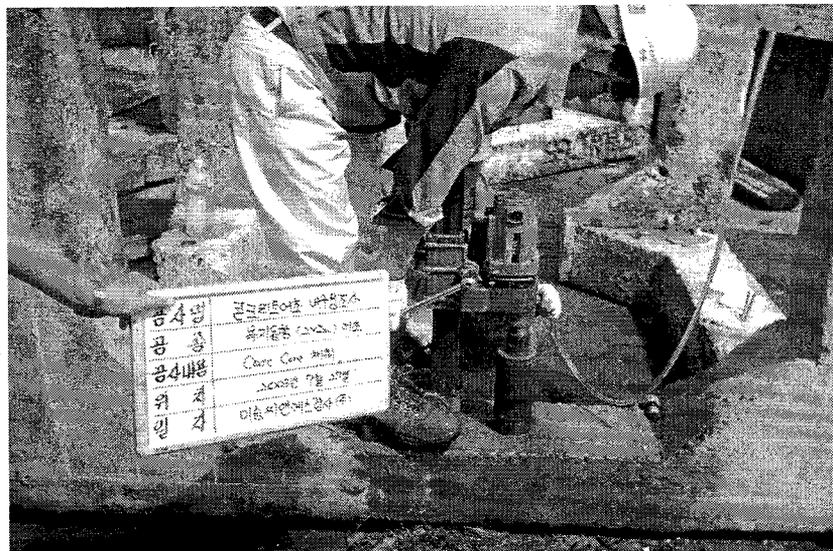


그림 14. 코어채취 광경.

Fig. 14. Viewing of pulling out coar from concrete reef.

(2) 철근부식 검사

콘크리트 내부에 매입된 철근의 부식상황을 파악하는 비파괴 검사법에는 자연전위법, 분극저항법, 콘크리트 비저항 측정법의 3종류가 있지만, 자연전위법 이외에는 아직 실용적 단계에 도달하지 못한 실정이다. 자연전위법, 존재환경에서 유지하고 있는 전기적 위상을 말한다. 부식환경에 있는 강재에서는 부식전지(부식회로)가 형성되고, 부식부(양극부)와 피부식부(음극부)로 나뉘어져 자연전위가 변화한다. 자연전위법은 부식환경에서의 전위변화를 계측하여 철근의 부식환경을 판정하는 방법이다. 전위측정의 오차요인으로서 는 철근의 피복두께, 피복 콘크리트의 수분함유량, 부식진행 위치 등에 따라 많은 영향을

받게 된다.

금속이 존재환경에서 유지하고 있는 전기적 위상으로 부식 환경에 있는 강재에는 부식전지(부식회로)가 형성되어 자연전위가 변화하므로 이러한 전위차를 측정하면 강재의 부식상태를 조사할 수 있다. 즉, 전위계의 한쪽을 매입철근에 접속하고 다른 한쪽을 국부전지(Half-Cell)에 연결시켜 측정하고자 하는 콘크리트 표면에 국부전지를 이동시켜 가면서 측정한다. ASTM에서는 자연전위법과 철근부식의 관계에 대하여 판정기준을 작성하여 검사에 적용하고 있다(표 5).

표 5. ASTM에 의한 부식 평가기준

Table 5. Estimation of Half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete by American standard test method

ASTM기준	부식 확률
$-200 \text{ mV} < E$	90 % 이상 부식없음.
$-350 \text{ mV} < E \leq -200 \text{ mV}$	불확실.
$E \leq -350 \text{ mV}$	90 % 이상 부식있음.

나. 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사

통영바다목장 내에 시설된 어초에 대하여 보강 및 재 시설 여부를 평가하였다. 평가를 하게 된 원인은 자원조성에 대한 인공어초의 기능이 시대적으로 변하고 있고, 어획방법의 발달로 인한 조업 규모의 합리적인 설정이 필요하며, 낚시, 연승, 자망, 권현망 등 업종간의 합리적인 어장 이용 방안의 모색이 필요하기 때문이다.

본 조사에서는 과거에 시설된 어초어장에 대한 집중 혹은 분산 등 배치형태에 대하여 분석하고, 적정규모를 제시하였다.

Ⅲ. 결과 및 토의

1. 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매몰 특성조사

바다목장 조성지 20 km² 내에 시설된 연구용어초에 대하여 Side Scan Sonar를 이용하여 조사하였다(표 6, 그림 15). 시설된 연구어초는 재질별로는 강제어초가 10종(피라밋 강제어초, 행동시험용 강제어초, 연약지반형 강제어초, 강제해조용어초, 육성용강제어초, 강선+피라밋강제어초, 신형강제어초, 2단상자형 강제어초, 로프-강제 복합어초, 원형강제어초), 콘크리트어초가 6종(상자형어초, 사각어초, 반구형어초, 연안다목적용어초, 조립식 사각형어초, 탄약운반선), 폴리프로필렌 어초가 2종(PP조립형상자어초, PP조립형커텐어초), 목재 1종(목선어초), 기타 6종 등 모두 25종으로 확인되었다. 주요 연구용 어초 종류별 형상은 그림 16와 같다.

시설 수심대별 어초종류를 보면, 10 m 이천에 시설된 어초의 종류는 6종이며 종류로는 어패류용 세라믹어초, 강제해조용어초, 연안다목적 어초, 로프-강제복합어초, 인조해조장어초, 자연석 등이다. 그리고 10~20 m에 시설된 어초는 12종이며, 시설된 어초의 종류는 행동시험용 강제어초, 사각어초, 신형강제어초, 연약지반형 강제어초, 목선쌍둥어초, 대형사각구조물, 피라밋강제어초, 사각구조물, 반구형어초, 인조해조장, PP조립형 상자어초, PP조립형커텐어초 등이다. 수심 20~30 m에 시설된어초는 9종으로, 상자형어초, 연약지반형강제어초, 목선어초, 사각어초, 상자형강제어초, 2단상자형강제어초, 로프-강제복합초, 조립식사각어초, 육성용강제어초 등이다.

한편으로 수심 30~40 m에 시설된 어초는 6종으로 피라밋강제어초, 연약지반형강제어초, 2단상자형강제어초, 사각어초, 2단상자형강제어초, 육성강제어초 등이며, 40 m 이상의 수심에 시설된 어초는 2종으로 그의 종류는 강선+피라밋강제어초, 탄약운반선+2단상자형어초이다.

통영바다목장조성지에 시설된 연구용어초 시설량은 사각어초(2×2×2 m)를 제외하면 329개이며(표 7), 이들 어초는 안정된 상태로 시설되어 있었다. 본 연구와 관련하여 조사 항목 중 수심도, 어초시설도(종합정보도)는 별책으로 발간할 예정이다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상의 지역에 어초시설을 위한 탄성파 조사

통영바다목장 조성지 내에 조피볼락 등 방류한 어류가 어느 정도 성장(미성어, 성어)한 후, 수온이 하강하는 동계에는 수심이 깊은 곳으로 이동할 것으로 예상됨으로 수심이 40 m 이상인 곳에 대하여 어초시설을 위하여 해저 지층 구조를 파악하고자 다음과 같이 탄성파 및 저질조사를 수행하였다.

표 6. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초의 시설 위치

Table 6. Locations of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.

일련 번호	위 치 명	어초종류 (규격)	시설 수심 (m)	시설 시기	시설 수량 (개)	조사 수량 (개)	단위어초 위치 확인좌표 (WGS-84)
T01	미륵도 수암산남단	피라밋강제어초 (10×10×7 m)	36~41	'03.12	4	4	1) N34°47.605' E128°22.058' 2) N34°47.592' E128°22.049' 3) N34°47.583' E128°22.116' 4) N34°47.567' E128°22.093'
T02	봉도(쑤섬) 북동쪽	행동시험용강제어초 (10×10×2 m)	12	'02.03	3 1	3 1	1) N34°46.871' E128°22.896' 2) N34°46.826' E128°22.895' 3) N34°46.819' E128°22.880' 4) N34°46.807' E128°22.880'
T03	봉도(쑤섬) 남쪽	피라밋강제어초 (10×10×7 m)	30~34	'03.12	3	3	1) N34°46.681' E128°22.612' 2) N34°46.640' E128°22.608' 3) N34°46.621' E128°22.659' 4) N34°46.613' E128°22.645'
T04	민복말 서쪽	연약지반형강제어초 (10×10×2 m)	16~24	'02.03	6	6	1) N34°46.714' E128°23.126' 2) N34°46.706' E128°23.095' 3) N34°46.697' E128°23.069' 4) N34°46.693' E128°23.077' 5) N34°46.687' E128°23.086' 6) N34°46.670' E128°23.158'
T05	곤리도 남서단	신형강제어초 (Φ12.5×4 m) (Φ12.8×6 m) (Φ13.5×9 m)	14	'02.12	4	4	1) N34°46.494' E128°21.681' 2) N34°46.479' E128°21.674' 3) N34°46.469' E128°21.656'
T06	곤리도 남단	강제해조용어초 (10×10×2 m) 연안다목적어초 (2×2×2 m)	6	'03.03 '03.03	1 20	1 20	1) N34°46.652' E128°21.857' 2) N34°46.650' E128°21.886'
T07	곤리도 남동단	연약지반형강제어초 (10×10×2 m) 육성용강제어초 (10×10×7 m)	30	'03.01 '02.12	1 1	1 1	1) N34°46.470' E128°22.220' 2) N34°46.456' E128°22.207'
T08	곤리도 부도	상자형어초 (3×3×3 m)	15~25	'00.10	25	25	1) N34°46.428' E128°22.267'
T09	부도 동북쪽	2단상자형강제어초 (10×10×10 m)	36	'01.10	2	2	1) N34°46.355' E128°22.452' 2) N34°46.332' E128°22.412'

표 6. 계속

Table 6. Continued

일련 번호	위 치 명	어초종류 (규격)	시설 수심 (m)	시설 시기	시설 수량 (개)	조사 수량 (개)	단위어초 위치 확인좌표 (WGS-84)
T10	부도 남단	강선+피라밋강제어초 (6×24×10 m)	40	'03.12	2	3	1) N34°46.104' E128°22.044'
T11	대장두도 북쪽	목선어초 (26×16×6 m)	25	'00.01 '00.01	2척 1척	2척 1척	1) N34°46.277' E128°22.867' 2) N34°46.235' E128°22.943'
		자연석 TTP	10	'02.03	500m ³ 60	500m ³ 60개	3) N34°46.244' E128°22.943'
		연약지반형강제어초 (10×10×2 m)	12	'99.12	1	1	4) N34°46.243' E128°22.938'
		신형강제어초(소)	16	'02.12	1	1	5) N34°46.249' E128°22.952'
T12	대,소장두도 사이	연안다목적어초 (2×2×2 m)	7	'01.12	10	10	1) N34°46.108' E128°22.976'
			8	'02.04	10	10	2) N34°46.108' E128°22.976'
		인조해조장어초 (10×7×3 m)	9	'01.02	4	4	3) N34°46.121' E128°22.896' 4) N34°46.121' E128°22.896' 5) N34°46.121' E128°22.896'
T13	소장두도	목선쌍둥어초	18	'00.01	1	1	1) N34°46.066' E128°23.055'
T14	소장두도 남쪽	사각형어초 (2×2×2 m)		'00.10	200	200	1) N34°45.800' E128°22.991'
T15	소장두도, 축도 사이	상자형강제어초 (10×10×10 m)	25	'99.12	1	1	1) N34°45.994' E128°23.282'
		조립식사각어초 (6×8×6 m)	25	'99.12	1	1	2) N34°45.989' E128°23.180'
		로프-강제복합어초 (10×8×2 m)	25	'02.03	1	1	3) N34°45.986' E128°23.207'
T16	축도 서단	로프-강제복합어초 (10×8×2 m)	10	'02.03	1	1	1) N34°45.926' E128°23.358'

표 6. 계속

Table 6. Continued

일련 번호	지 역 명	어초종류 (규격)	수심 (m)	시설 년도	시설 수량 (개)	조사 수량 (개)	단위어초 위치 확인좌표 (WGS-84)
T17	축도 남동단	연약지반용강제어초 (10×10×2 m)		'02.12	2	2	1) N34°45.798' E128°23.539' 2) N34°45.791' E128°23.528'
		2단상자형강제어초 (10×10×10 m)	35	'03.12	2	2	3) N34°45.840' E128°23.690' 4) N34°45.840' E128°23.664'
		원형강제어초	15			1	5) N34°45.783' E128°23.496'
T18	당정말 북쪽	어패류용세라믹어초 (2×2×2 m)	6	'03.12	14	14	1) N34°46.318' E128°23.758'
T19	당정말 전방	강제해조용어초 (10×10×2.5 m)	5	'03.12	3	3	1) N34°46.151' E128°23.813' 2) N34°46.138' E128°23.815' 3) N34°46.121' E128°23.814'
T20	저도 북서단	대형사각구조물	13			1	1) N34°45.244' E128°23.443'
		사각구조물				1	2) N34°45.326' E128°23.559'
		피라밋강제어초 (10×10×7 m)	21	'03.12	3	1	3) N34°45.350' E128°23.621'
		사각구조물				1	4) N34°45.327' E128°23.622'
T21	저도 북동단	연약지반용강제어초 (10×10×2 m)		'02.12	2	2	1) N34°45.379' E128°24.038' 2) N34°45.385' E128°24.085'
				'02.12	2	2	3) N34°45.392' E128°24.036' 4) N34°45.383' E128°24.080'
T22	저도 남동단	연안다목적어초 (2×2×2 m)	5	'02.04	10	10	1) N34°45.003' E128°24.053'

표 6. 계속

Table 6. Continued

일련 번호	위 치 명	어초종류 (규격)	시설 수심 (m)	시설 년도	시설 수량 (개)	조사 수량 (개)	단위어초 위치 확인좌표 (WGS-84)
T23	저도 등대	인조해조장 (10×10×1 m)	12	'98.11	1	1	1) N34°44.898' E128°23.780'
		인조해조장 (5×5×0.8 m)		'98.12	1	1	2) N34°44.858' E128°23.530'
		PP조립형(상자형)어초 (10×7×3 m)		'98.11	1	1	3) N34°44.898' E128°23.780'
		PP조립형(커텐형)어초 (10×7×3 m)		'99.12	2	2	4) N34°44.880' E128°23.508'
T24	만지도 남단	육성용강제어초 (10×10×7 m)	22	'03.01	2	2	1) N34°44.242' E128°22.876' 2) N34°44.234' E128°22.930'
T25	연대도 남단	2단상자형어초 (10×10×10 m)	30	'02.03	1	1	1) N34°43.693' E128°24.105'
		연약지반형강제어초 (10×10×2 m)		'02.12	2	2	2) N34°43.710' E128°24.113' 3) N34°43.708' E128°24.150'
		육성용강제어초 (10×10×7 m)		'03.01	4	4	4) N34°43.693' E128°24.105'
T26	내부지도 남단	탄약운반선+2단상자형 어초(3기)	41	'02.11	1	1	1) N34°42.253' E128°23.867'

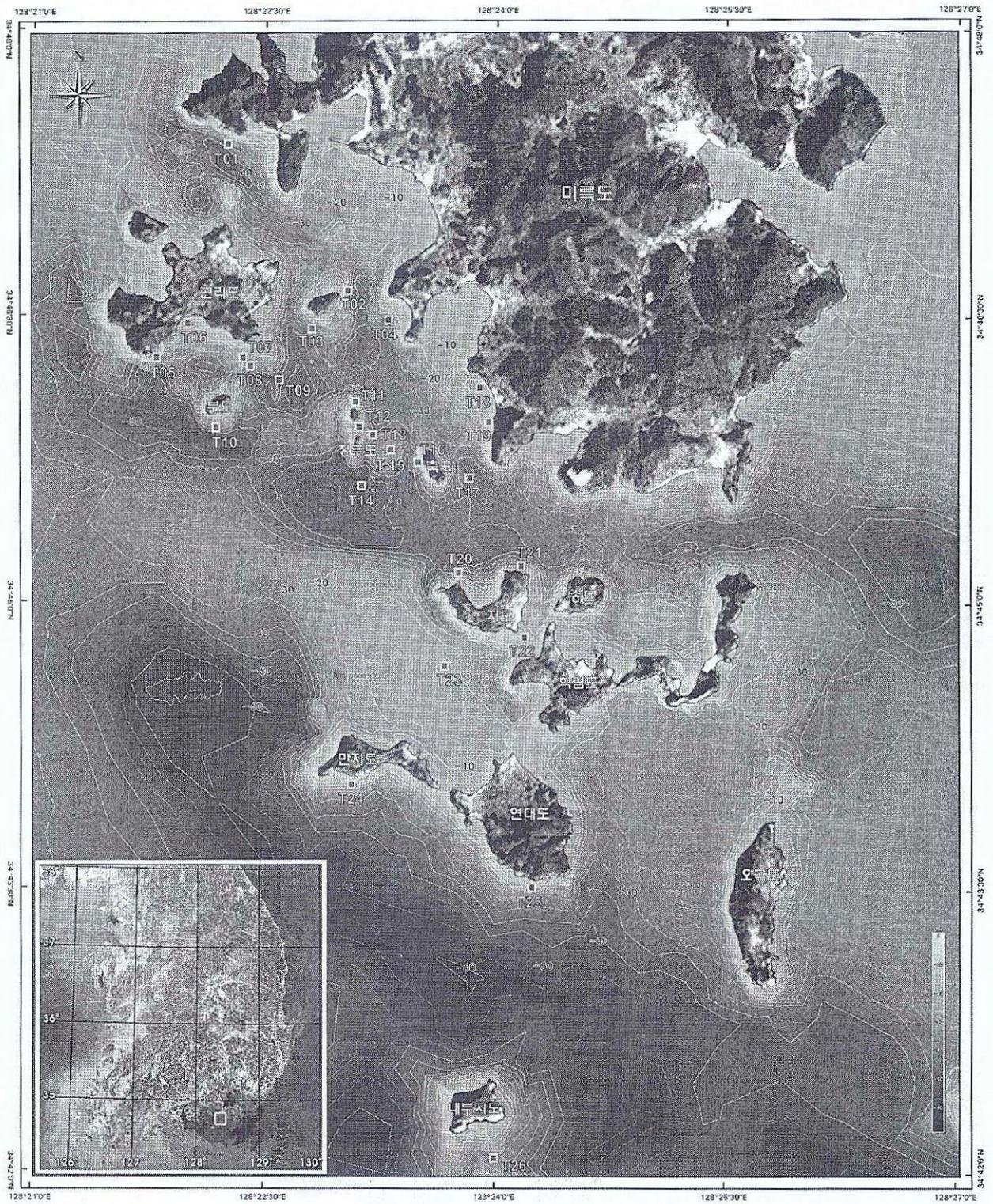


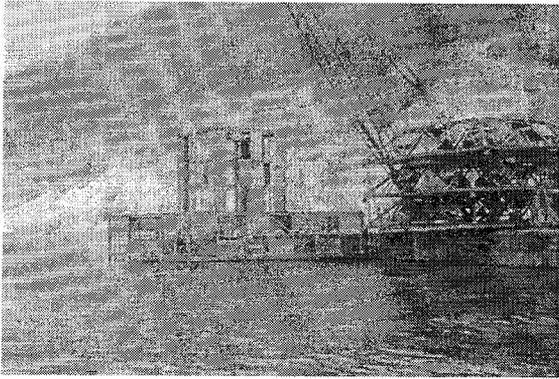
그림 15. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초의 시설 위치도.

Fig. 15. Locations of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.

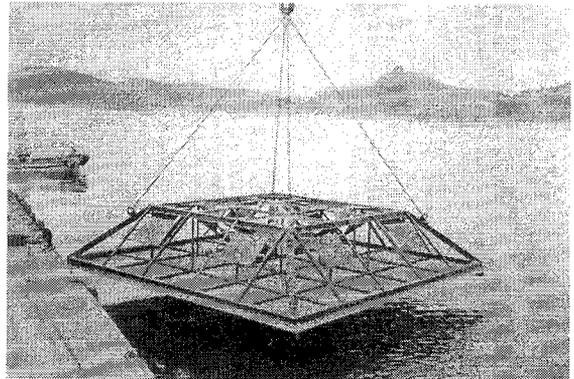
표 7. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초의 크기 및 수량

Table 7. Size and quantity of experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in province of Kyongnam, Korea.

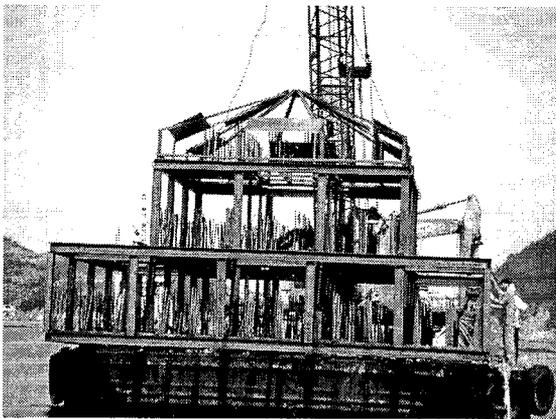
어초종류	시설수량	어초종류	시설수량
피라밧강제어초 (10×10×7 m)	5	인조해조장어초 (10×7×3 m)	8
행동시험용강제어초 (10×10×2 m)	4	목선쌍둥어초	1
연약지반형강제어초 (10×10×2 m)	17	해수유동제어구조물 (10×5×6 m)	1
사각어초 (2×2×2 m)	150	조립식사각어초 (6×8×6 m)	1
신형강제어초 (Φ12.5×4 m), (Φ12.8×6 m) (Φ13.5×9 m)	5	반구형어초	38
강제해조용어초 (10×10×2 m)	4	상자형강제어초 (10×10×10 m)	1
연안다목적어초 (2×2×2 m)	50	사각구조물	2
육성용강제어초 (10×10×7 m)	7	로프-강제복합어초 (10×8×2 m)	4
상자형어초 (3×3×3 m)	25	대형사각구조물	1
2단상자형강제어초 (10×10×10 m)	6	원형강제어초	1
강선+피라밧강제어초 (6×24×10 m)	3	어패류용세라믹어초 (2.8×3.4×2 m)	14
목선어초 (26×16×6 m)	3	PP조립형상자어초 (10×7×3 m)	1
자연석	500m ³	PP조립형 커텐어초 (10×7×3 m)	4
TTP	120	탄약운반선+2단상자형강 제어초(3기)	1
인조해조장 (10×10×1 m)	2		
소 계	401(500 m ³)	소 계	78



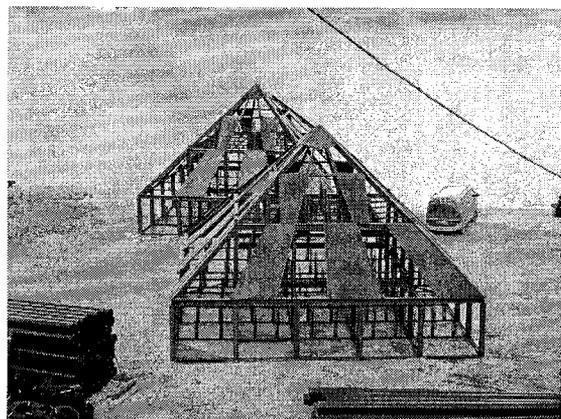
2단상자형강제어초 (10×10×10 m)



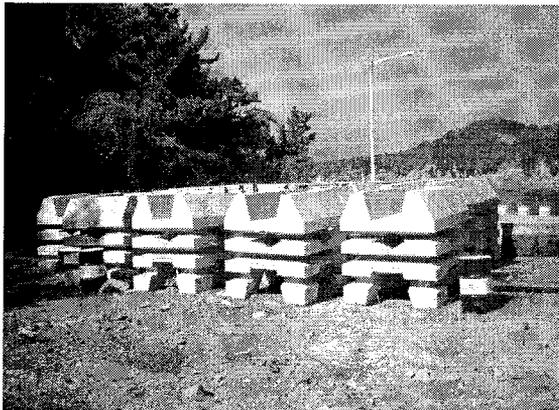
연약지반형강제어초 (10×10×2 m)



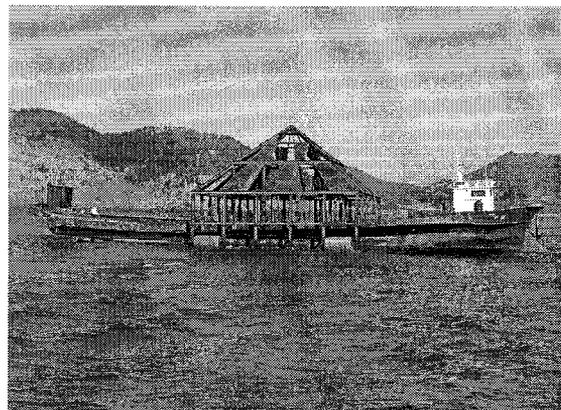
육성용강제어초 (10×10×7 m)



피라밋강제어초 (10×10×7 m)



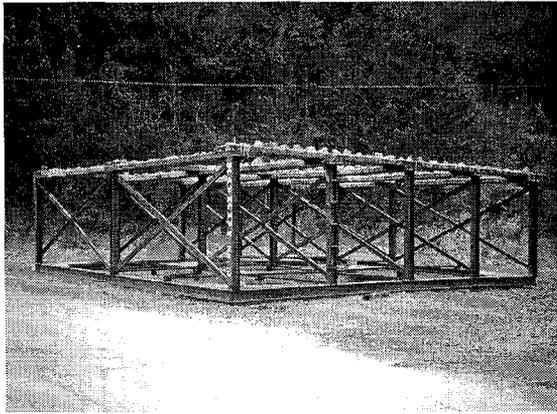
연안다목적어초 (2×2×2 m)



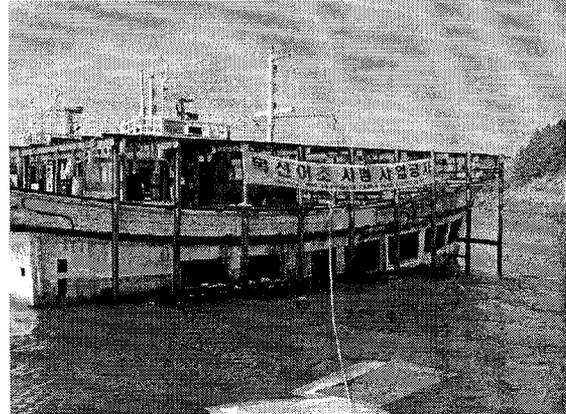
강선어초 (6×24×10 m)

그림 16. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초.

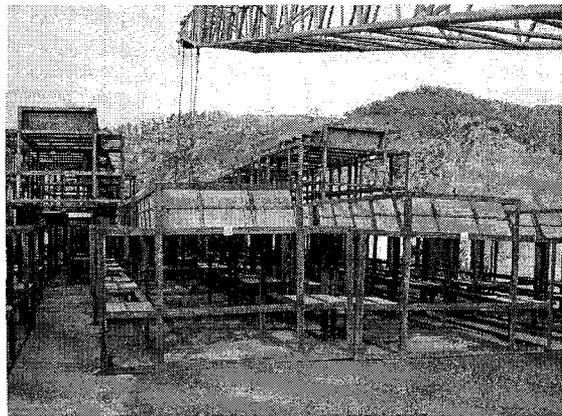
Fig. 16. Experimental artificial reefs installed at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.



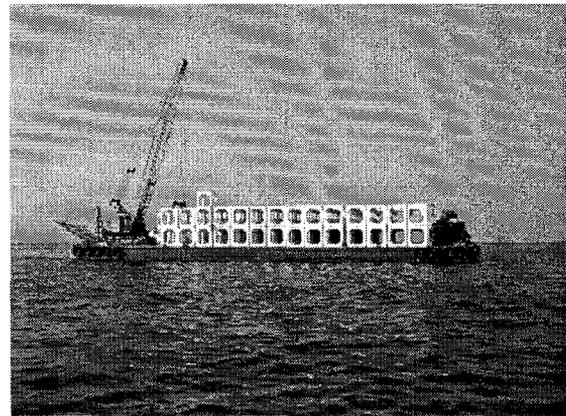
강제해조용어초 (10×10×2 m)



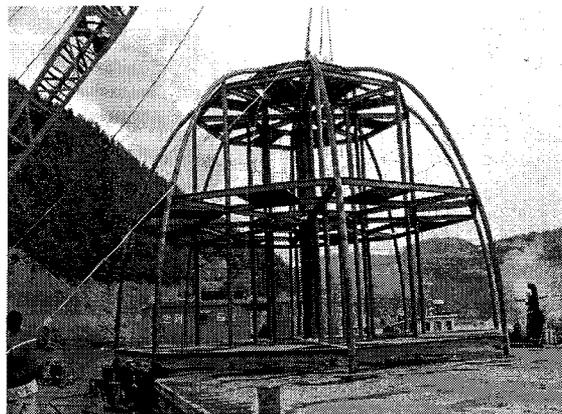
목선어초



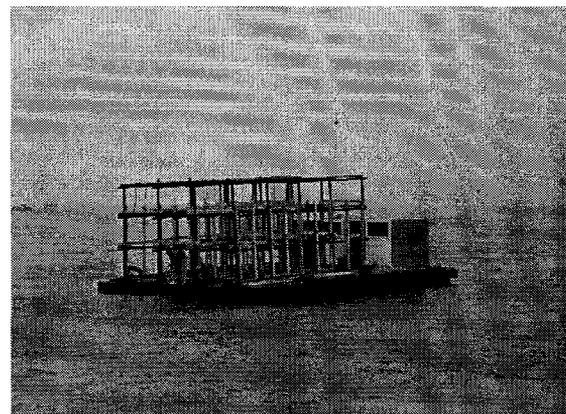
어패류용세라믹어초 (2.8×3.4×2 m)



사각어초 (2.8×3.4×2 m)



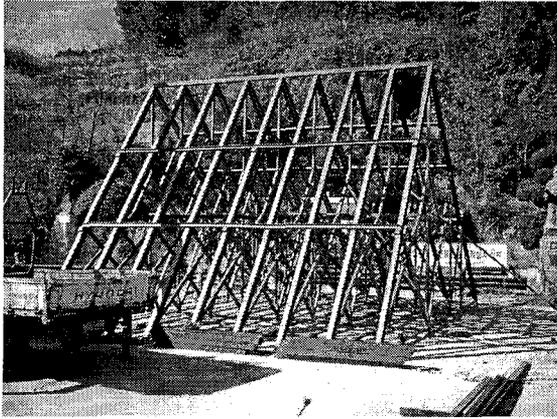
신형강제어초 (Φ12.5×9 m)



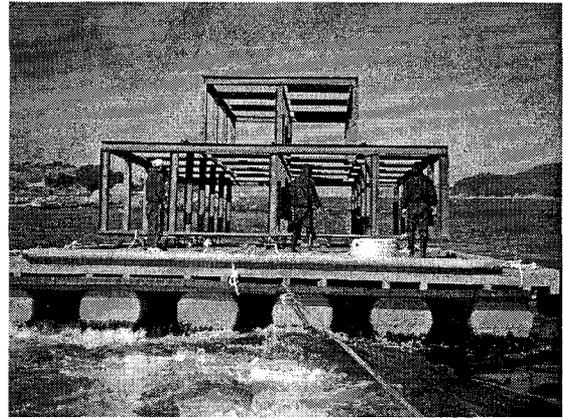
PP조립형상자어초 (10×7×3 m)

그림 16. 계속.

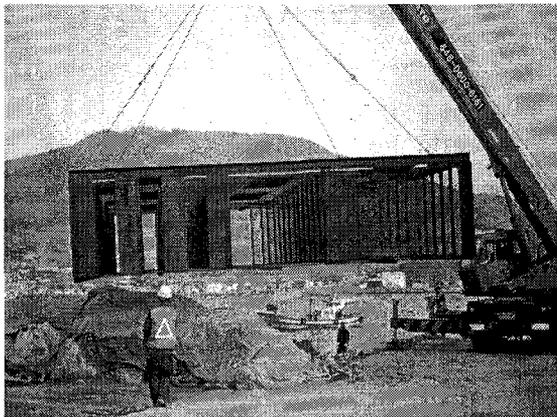
Fig. 16. Continued.



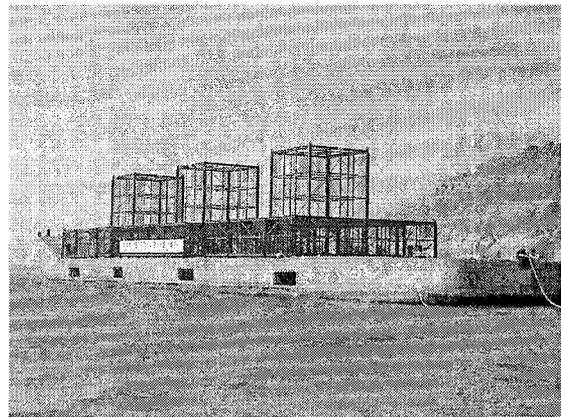
삼각지붕형어초



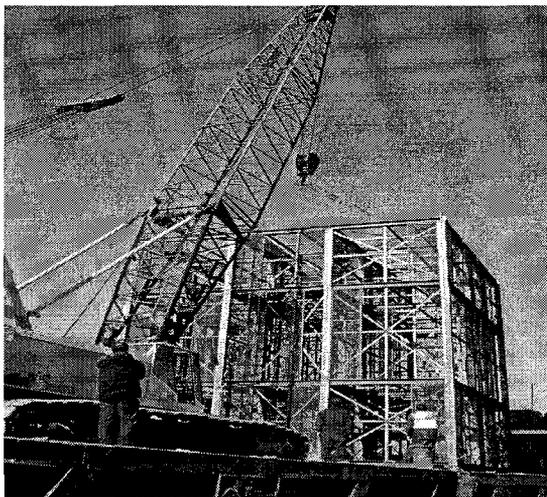
행동시험용강제어초 (2단형, 10×10×4 m)



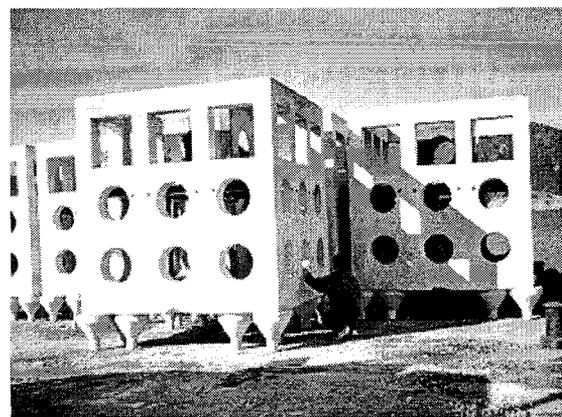
행동시험용강제어초 (단층형, 10×10×2 m)



탄약운반선+2단상자형강제어초(3기)



상자형강제어초 (10×10×10 m)



상자형 어초 (3×3×3 m)

그림 16. 계속.

Fig. 16. Continued.

가. 탄성과탐사

바다목장화 주변수역중 어초시설주변지역 및 새로운 어초시설 예정지에 대해 4개 구역(Site A, B, C, D)으로 나누어 탄성과 탐사자료를 획득하였다. 획득된 탐사자료는 해저면 하부의 강한 반사면의 강도(intensity)와 연속성을 고려하여 퇴적층(unit)을 구분하였고, 탄성과상의 층후는 음파전달속도를 1500 m/s로 가정하여 계산되었다.

(1) Site A

Site A(표 2)지역은 곤리도, 대장두도, 소장두도, 부도로 둘러싸인 지역으로 조사면적은 약 1.82 km² 이다. 이 지역의 수심은 약 3~52 m 정도의 수심을 이루고 있는 지역에서 조사지역 중앙으로 수심이 깊어지는 해저 지형을 가지고 있다. 탄성과 탐사 측선 간격은 150 m 간격을 유지하며 측선라인 18개의 탄성과 자료를 획득하였다. 3개의 정점에서 10~107 cm의 주상시료를 채취하였으며, 1개 정점에서 그랩채니기(grab sampler)로 표층 퇴적물 시료를 채취하였다.

Site A 지역은 다른 조사지역보다 인공어초가 많이 산재되어 있어 여러 개의 탄성과 단면에 인공어초의 영상이 확인되었다(그림 17). 여러 탄성과 단면에서 수심 약 60 m 전후에서 음향기반암이 확인되었으며, 조사지역 중앙에서 최대 30 m 정도의 두터운 층후가 확인되었다. 본 조사지역은 대체로 섬에서 조사지역 중앙으로 층후가 깊어지는 양상을 보이고 내부층리가 잘 발달되어 있다. 곤리도와 대장두도 사이 지역에서 조립질의 퇴적물 때문에 탄성과 단면에서 강한 음향 임피던스를 나타내고 있는데 이는 정점 2번의 실내분석 자료(표 2)와 잘 일치하고 있다. 조사지역 중앙(Line 04)을 지나는 탄성과 단면에서도 조립질 퇴적물로 인한 강한 반사면이 나타나는데 이 또한 정점 4번의 실내분석 자료와 잘 일치하고 있다(표 2). 또한 인공어초들이 탄성과 단면에서 매우 잘 나타나고 있으며, 인공어초 주위에 서식하는 어군들도 확인할 수 있었다.

(2) Site B

Site B(표 2)는 곤리도 서쪽지역으로 곤리도 서쪽해안에서부터 서쪽 방향으로 약 2 km 떨어진 지역이며, 조사 면적은 약 2.38 km² 정도이다. 탄성과 탐사측선은 총 18개로 약 150 m 측선 간격을 유지하면서 탄성과 탐사를 수행하였다. 주상시료는 총 4개가 채취되었으며, 시료의 길이는 84~138 cm 정도이다. 이 지역의 수심은 2~55 m 정도로 이루어져 있으며, 곤리도에서 서쪽 방향으로 가면서 약 55 m의 최고 수심을 보이다가 점차 감소하며, 최고 수심이 나타나는 부분은 남북 방향으로 길게 끌을 이루고 있다.

Site B 지역의 탄성과자료에서 음향기반암(acoustic basement)이 수심 약 55~68 m 정도에서 확인되었으며, 약 10~30 m 정도의 두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리가 잘 발달되어 있다(그림 18). 수심 55 m의 곤리도 근처의 지역(Line 08)을 제외하고는 주상시료 분석결과 대

부분 니질 퇴적물로 구성되어 있다. 이는 본 조사지역의 탄성과 단면과 잘 일치하고 있다.

(3) Site C

Site C(표 2)지역은 부도와 소장두도 아래에 위치하고 있으며, 부도에서 남쪽방향으로 약 460 m 떨어진 지역이다. 조사면적은 약 1.58 km² 정도이다. 조사지역의 수심은 약 20~53 m 정도이며, 남쪽지역보다 북쪽지역이 깊은 완만한 해저지형을 이루고 있다. 150 m 측선 간격을 유지하며 15개 측선의 탄성과 자료가 획득되었다. 4개의 정점에서 주상시료가 채취되었다. Site C 지역의 탄성과 단면도에 Site A 지역처럼 많은 인공어초들이 확인되었으며, 비교적 원형그대로의 인공어초 자료를 획득하였다(그림 19). Site A 지역에서와 마찬가지로 인공어초 주위의 어군들이 탄성과 단면에서 확인되었으며, 또한 조사선박의 어군탐지기에서도 확인되었다. 비교적 수심이 얕은 남쪽지역에서 약 30 m 정도의 내부층리가 잘 발달된 층후가 확인되었다. 수심이 깊은 북쪽지역으로 갈수록 층후의 두께가 7 m 정도로 감소하고 수심 60 m 정도에서 강한 음향기반암이 확인되었다.

(4) Site D

Site D(표 2)지역은 수암산과 곤리도 사이에 위치한 지역으로 조사면적은 약 0.98 km²이다. 150 m 측선 간격으로 탄성과 탐사가 수행되었으며, 15개 측선의 탄성과 탐사 자료가 획득되었다. 주상시료는 1개의 정점에서 채취하였고, 다른 3개의 정점에서는 주상시료 획득이 어려워 그랩채니기(grab sampler)를 이용하여 표층시료를 채취하였다. Site D 지역은 2~33 m의 수심을 이루고 있으며, 중앙에 2~3 개의 암초(간출암)가 존재하고 있고 수심의 변화가 비교적 큰 지역이다. 수암산 남서부와 곤리도 북쪽 해안을 따라 많은 어장이 분포하고 있다(그림 20).

Site D 지역의 탄성과 자료에서 일부 지역에서 강한 음향 기반암이 보이고 있으며, 주로 조립질의 음향상을 띄고 있다. 이는 정점 13, 14, 16의 실내분석 자료와 매우 잘 일치하고 있다. 일부 지역에서 해저면 상부 수 m에서 약 40 m 정도의 두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리 또한 잘 발달되어 있다(그림 20). 일부 측선(Line 05, Line 15)에서 인공어초가 탄성과 자료상에 매우 잘 나타났으며, 탄성과 단면상에서 인공어초 주변에 많은 어군이 탐지되었고 또한 조사 선박의 어군탐지기에서도 확인되었다.

나. 입도분석 결과

(1) Site A

3개(정점 1, 3, 4)의 주상시료와 1개(정점 2)의 그랩시료를 포함하여 총 4곳의 시료를 채취하였다. 정점 2를 제외하고는 전반적으로 니질(mud) 퇴적물이 우세하게 분포한다. 정점 1에서는 10 cm의 주상시료를 획득하였으며, 분석결과 니질 퇴적물이 우세함에도 불

구하고 시료의 최상부에 존재하는 조개파편(Shell fragment) 등에 의해 획득률은 불량하였다. 평균입도는 8.40 ϕ 이었으며 퇴적물 유형은 M(mud)으로 나타났다(그림 21).

정점 2에서는 조립질 퇴적물의 함량이 높은 관계로 주상시료를 획득하지 못하고 그랩을 이용하여 표층시료를 채취하였다. 평균 입도는 2.93 ϕ 로 나타났으며 퇴적물 유형은 gmS (gravelly muddy sand)로 나타났다. 정점 3에서는 주상시료의 길이가 총 107 cm로서 Site A에서 가장 긴 주상시료를 획득하였다. 평균입도는 7.90~8.66 ϕ 의 범위를 보이며 퇴적물 유형은 각각 C (clay), M (mud), (g)S (slightly gravelly sand), sC (sandy clay) 등으로 나타났다. 정점 4에서는 54 cm의 주상시료를 채취하였으며 평균 입도는 7.03~7.69 ϕ 를 보였고 퇴적물 유형은 상부에서 (g)sM (slightly gravelly sandy mud)로 하부에서는 M (mud)으로 나타났다.

(2) Site B

Site B에서 획득한 주상시료는 총 4개(정점 5, 6, 7, 8)였으며, 평균 입도가 6.33~9.49 ϕ 로 나타났다. 퇴적물 유형은 평균 입도에서도 알 수 있듯이 전반적으로 M (mud)가 우세하게 분포하고 있으며 다음으로 C (clay)가 우세하며 부분적으로 (g)sM (slightly gravelly sandy mud)로 나타났다. 정점 5에서는 총 110 cm의 시료를 획득하였으며 평균 입도는 8.16~8.52 ϕ 로 거의 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있다. 또한 퇴적물 유형 역시 M (mud)와 C (clay)로 전체적으로 유사하게 나타났다.

정점 6은 137 cm의 시료가 획득되었다. 평균 입도는 8.40~9.49 ϕ 로서 정점 5와 같이 거의 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있다. 그러나 정점 5에 비해서는 상대적으로 점토(clay)의 함량이 높게 나타났으며 퇴적물 유형에서도 C (clay)가 우세하게 나타났다. 정점 7의 경우 획득된 시료가 80 cm로서 다른 세 정점에 비해 하부에서 상대적으로 모래(sand)의 함량이 높게 나타났다. 평균 입도는 6.33~8.52 ϕ 이며 퇴적물 유형은 C (clay), M (mud), (g)sM (slightly gravelly sandy mud) 등으로 나타났다. 정점 8에서 획득한 시료의 길이는 116 cm이며 퇴적물 유형은 전체가 M (mud)으로 이루어진 균질한 상태를 나타냈다. 평균 입도는 7.70~8.46 ϕ 를 보였으며 사질의 함량은 10 % 미만이고 실트(silt)질 퇴적물보다 점토(clay)질 퇴적물의 함량이 조금 높게 나타났다.

(3) Site C

조사지역 최하부에 위치하고 있는 Site C에서 총 4개(정점 9, 10, 11, 12)의 주상시료를 획득하였다. 정점 9와 10에서는 정점 11과 12에 비해 상대적으로 사질의 함량이 높게 나타났다. Site C에서의 평균 입도 범위는 6.72~8.86 ϕ 로 나타났으며 퇴적물 유형은 (g)M (slightly gravelly mud), (g)sM (slightly gravelly sandy mud), M (mud), C (clay) 등으로 나타났다. 정점 11과 12에 비해 사질의 함량이 높은 정점 9에서 획득한 주상시료의 길

이는 24 cm이며 평균 입도는 7.35~7.50 ϕ , 퇴적물 유형은 (g)M (slightly gravelly mud), (g)sM (slightly gravelly sandy mud)로 나타났다.

정점 10에서는 60 cm의 주상시료를 획득하였으며 평균 입도는 6.72~7.27 ϕ 의 범위를 나타내었다. 퇴적물 유형은 (g)sM (slightly gravelly sandy mud)로 나타났다. 퇴적물 유형이 비슷한 정점 9와 정점 10을 비교해 보면 정점 10에서 사질의 함량이 더 높게 나타나지만 자갈(gravel)의 함량은 정점 9에서 더 높게 나타난다. 따라서 퇴적물 유형은 비슷하나 이러한 입도별 함량의 차이로 인해 주상시료 회수율에 있어서 차이가 나는 것으로 보인다. 정점 11에서 획득한 주상시료는 길이가 108 cm이며 평균 입도는 7.93~8.45 ϕ 로서 거의 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있다. 퇴적물 유형 역시 전체가 M (mud)으로 나타났다. 정점 12의 획득된 주상시료 길이는 136 cm이며 정점 11과 유사하게 거의 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있었고, 평균입도는 8.18~8.86 ϕ 의 범위를 보이며 퇴적물 유형은 M (mud), C (clay)로 나타났다.

(4) Site D

Site D는 조사지역 최상부에 위치하고 있으며 1개(정점 15)의 주상시료와 3개(정점 13, 14, 16)의 그랩시료를 포함하여 총 4곳의 시료를 채취하였다. 조사지역 site 중에서 가장 조립질의 퇴적물로 이루어져 있으며 이로 인해 정점 15를 제외한 세 정점에서 그랩을 이용하여 표층시료를 채취하였다. 평균 입도는 3.98~6.75 ϕ , 퇴적물 유형은 정점 15에서 C (clay)로 정점 13, 14, 16에서는 (g)sM (slightly sandy mud), (g)mS (slightly gravelly muddy sand)로 나타났다. 정점 15에서 획득된 주상시료의 길이는 29 cm이며 평균 입도는 8.88~9.09 ϕ 의 범위를 보였다. 그랩을 이용하여 표층시료를 획득한 정점 13, 14, 16의 경우 사질의 함량이 39.37~52.89 %로 다른 site의 정점들에 비해 다소 높게 나타났다.

다. 전단강도결과

(1) Site A

Site A에서의 전단응력은 1.28~12.09 kPa의 범위로 나타났으며 상대적으로 조립질의 함량이 많은 부분에서 높은 전단응력 값을 나타내었다(표 8). 정점 2에서는 그랩채니기를 이용하여 표층시료를 채취한 관계로 전단응력을 측정하지 못하였다. 정점 1에서는 다른 정점의 유사한 퇴적물 유형에 비해 다소 높은 전단응력을 보이는데 이는 정점 1의 최상부층에 부분적으로 존재하는 사질과 패각편(shell fragment) 등에 의한 것으로 보인다.

(2) Site B

Site B에서는 퇴적물 유형이 다른 조사지역에 비해 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있으며 전단응력 역시 이와 연관하여 1.28~5.47 kPa로 상대적으로 낮은 값을 보인다. 일반

적으로 해양퇴적물에서의 전단응력은 퇴적물 깊이가 깊을수록 다짐, 속성작용에 의해 점진적인 증가를 보이는데 site B에서 역시 정점별 전단응력은 부분적인 입도별 함량에 의한 차이는 있으나 하부로 갈수록 퇴적물 다짐작용에 의해 점진적인 증가를 보인다.

(3) Site C

Site C의 전단응력은 1.28~4.58 kPa로 나타났으며 상대적으로 조립질의 함량이 높은 정점 9와 10에서(3.04 - 4.58 kPa) 정점 11과 12에 비해(1.28~4.36 kPa) 전단응력 값이 높게 나타났다. 상대적으로 니질의 함량이 높은 정점 11과 12에서는 부분적인 몇 개의 분석 깊이를 제외하고 하부로 갈수록 증가하는 양상을 보인다.

(4) Site D

Site D에서는 조사지역 중 조립질의 함량이 가장 높은 지역으로 정점 15를 제외하고 다른 세 정점(정점 13, 14, 16)에서는 그랩 채니기로 표층시료를 획득함으로 인해 전단응력을 측정하지 못하였다. 점토질 함량이 높은 정점 15의 경우 전단응력 값이 1.28~1.71 kPa로 다소 낮게 측정되었다.

3. 수심 40 m 이상의 지역에 시설될 어초의 구조형태, 배치형태

어초 배치형태는 어초 단체의 구조형태, 어초 시설높이, 시설면적, 단위어초의 규모, 단위어초 간에 거리, 천연초와의 관계 등에 따라 어초 시설효과는 크게 달라진다. 본 연구에서는 40 m보다 깊은 곳에 시설할 조피볼락, 참돔 어초의 적정구조, 배치형태에 대하여 조사하였다.

가. 적정 어초 구조

통영 바다목장 내의 40 m 내에 시설될 어초의 적정 구조로는 된 지금까지 개발된 인공어초와 달리 특정 어종(조피볼락, 참돔) 생태 및 저질 등 서식환경에 적합한 구조가 바람직하다고 판단된다. 내부 구조는 은신처가 많이 확보될 수 있도록 부재 간격을 좁게 설계하여 방류된 조피볼락 치어가 포식어에게 식해되지 않도록 하고, 외부 구조는 어초 바깥면을 면구조로 하여 풍부한 음영을 갖도록 함으로써 미성어, 성어 등의 서식 및 산란에 적합하도록 하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한, 어종에 따라서는 서식 수층이 상이함으로 동일 어초의 구조 형태를 2원화시켜 높이가 2 m 이하인 부분은 주축성이 강하고 음영을 좋아하는 조피볼락 등과 같은 어류의 서식에 적합한 면구조, 2 m 이상은 시각 및 청각 자극에 강하게 반응하는 참돔, 감성돔, 돌돔 및 농어 등의 어류 서식에 적합한 테구조가 바람직할 것이다. 특히, 우리나라 연안해역의 저질은 대부분 니질 함량이 많기 때문에 어초 시설 후 매몰을 방지하기 위해 어초 저면에 단위하중을 감소시킬 수 있는 공법도 강구하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

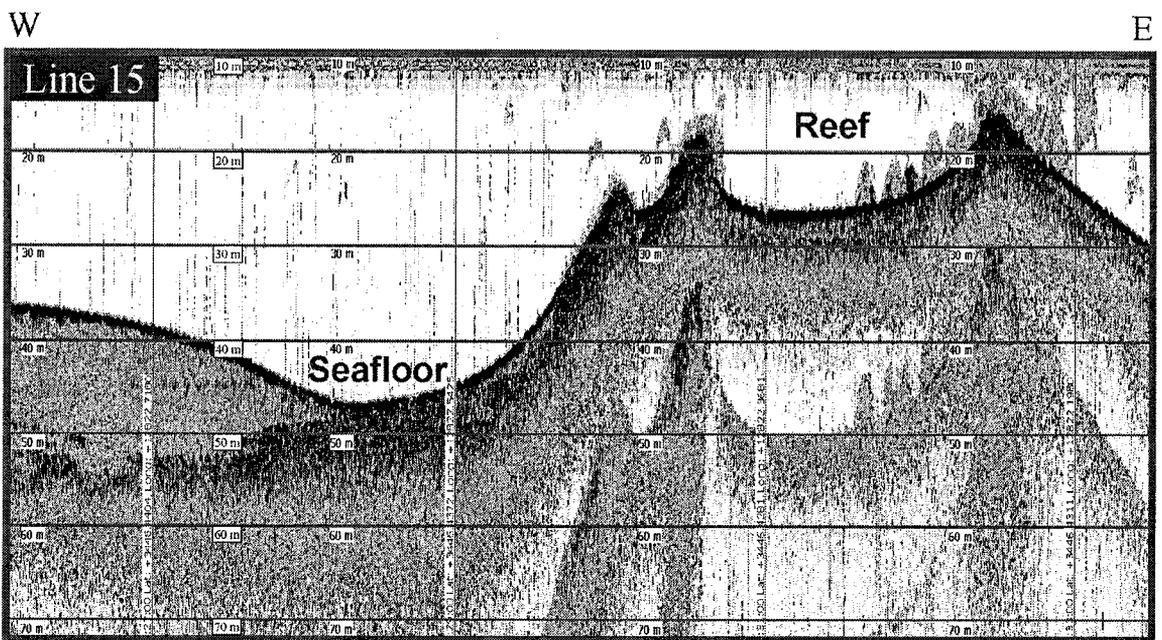
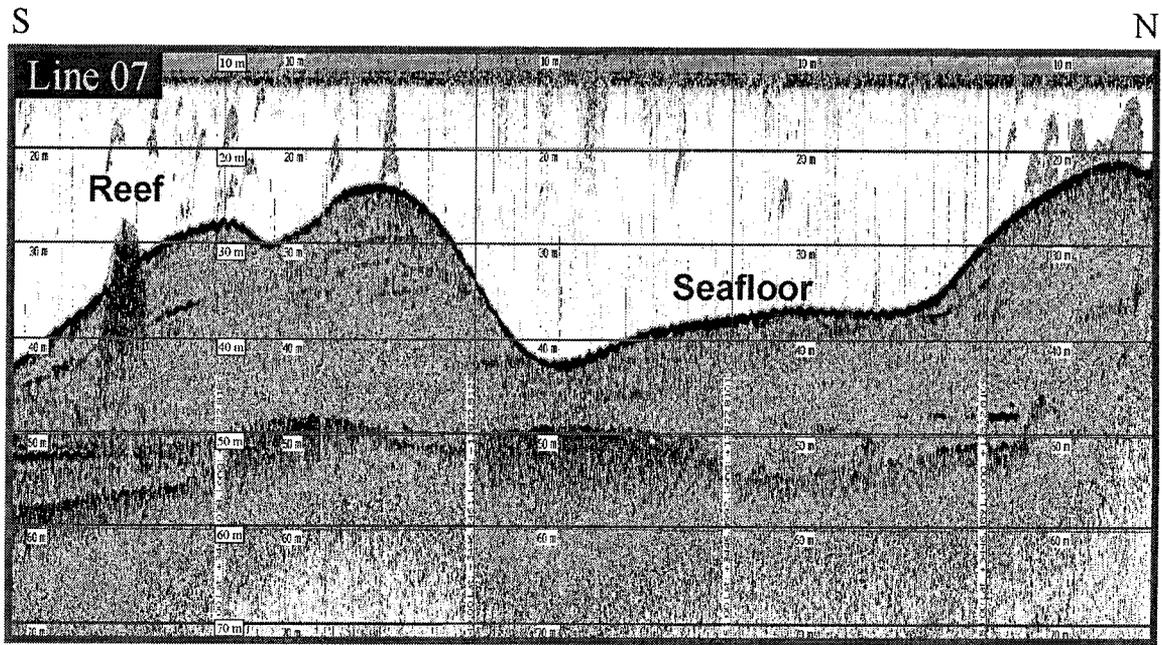
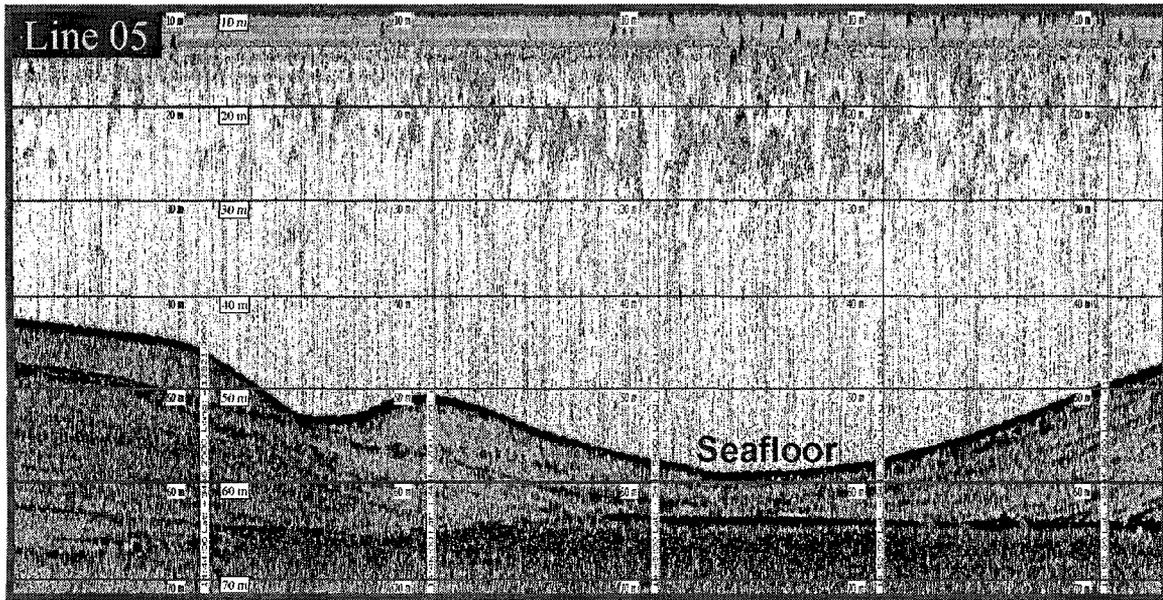


그림 17. 곤리도와 대장두도 사이에 위치한 지역 A의 탄성과 단면도.

Fig. 17. Acoustic profile of site A situated between Konri-do and Daejangdo-do in the province of Kyongnam, Korea.

N

S



E

W

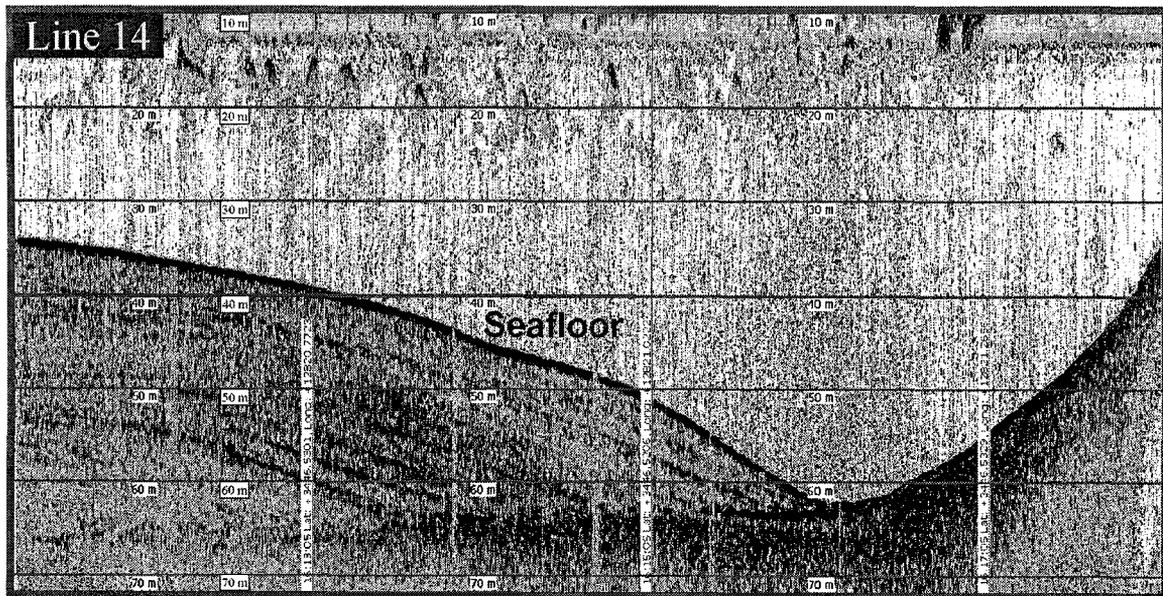


그림 18. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도.

Fig. 18. Acoustic profile of site A situated in the west of Konri-do in the province of Kyongnam, Korea.

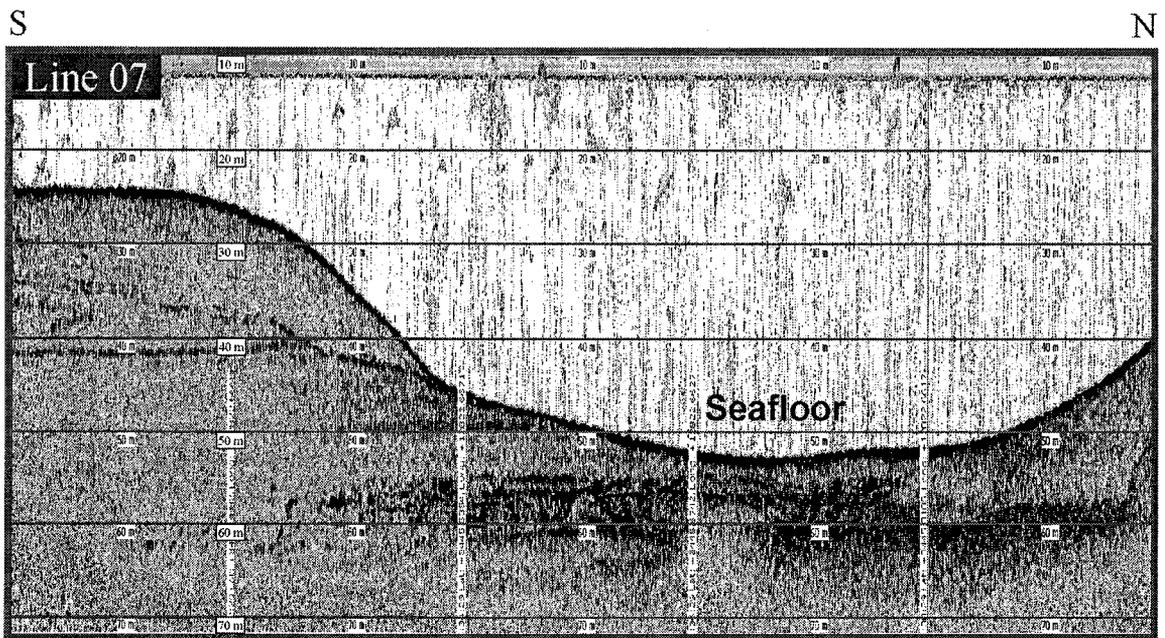
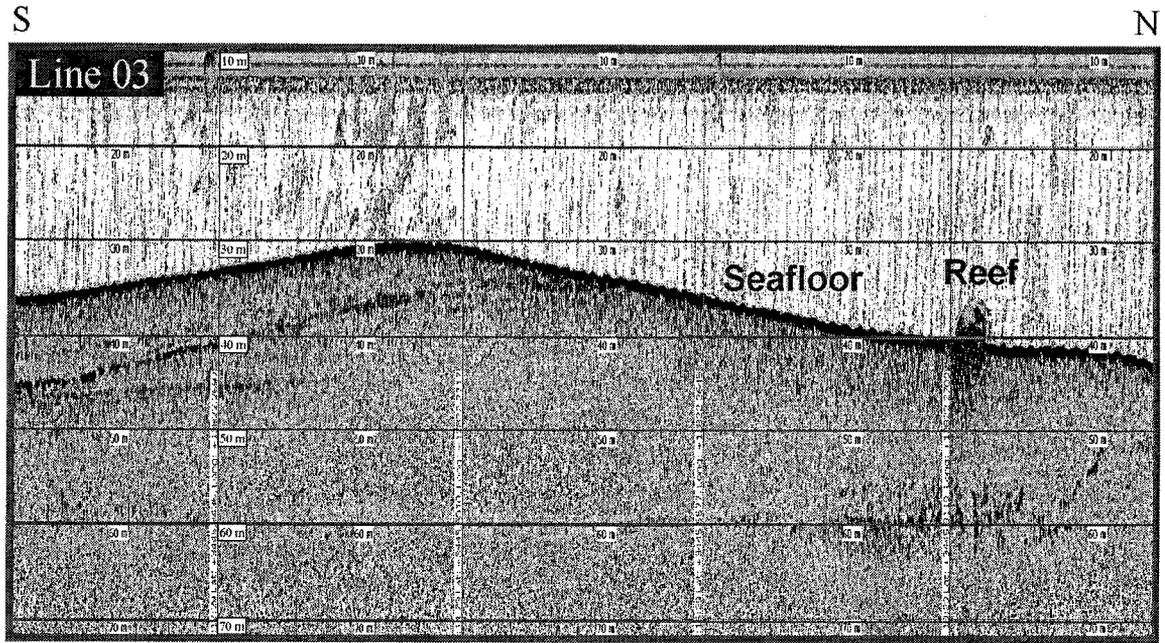


그림 19. 부도와 소장두도 사이에 위치한 지역 A의 탄성과 단면도.

Fig. 19. Acoustic profile of site A situated between Bo-do and Sojangdo-do in the province of Kyongnam, Korea.

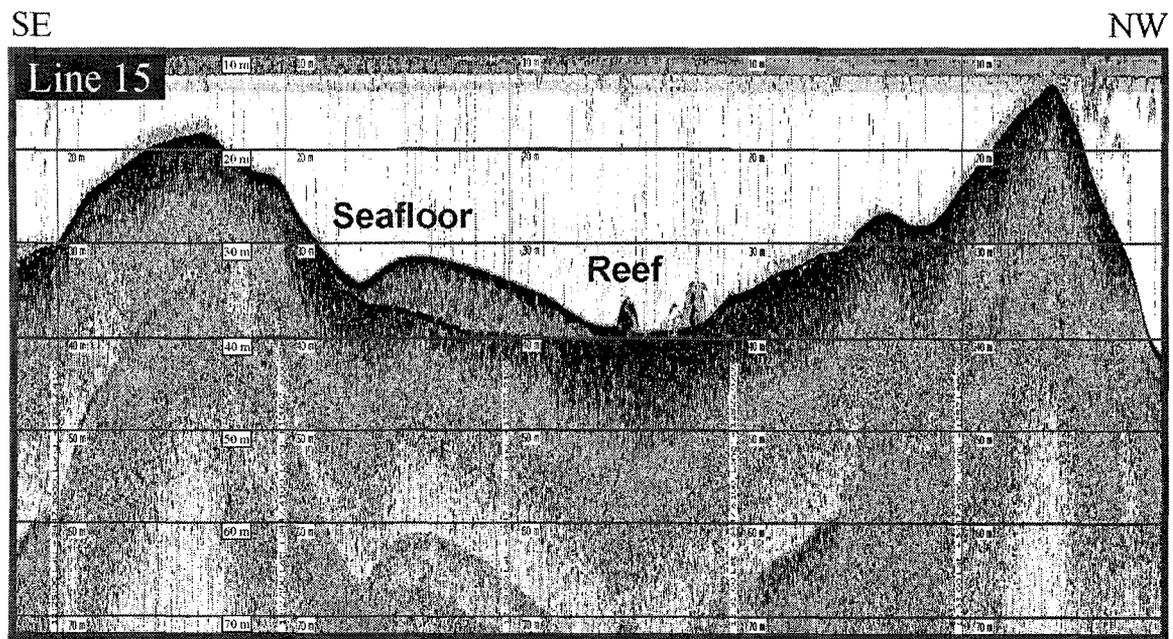
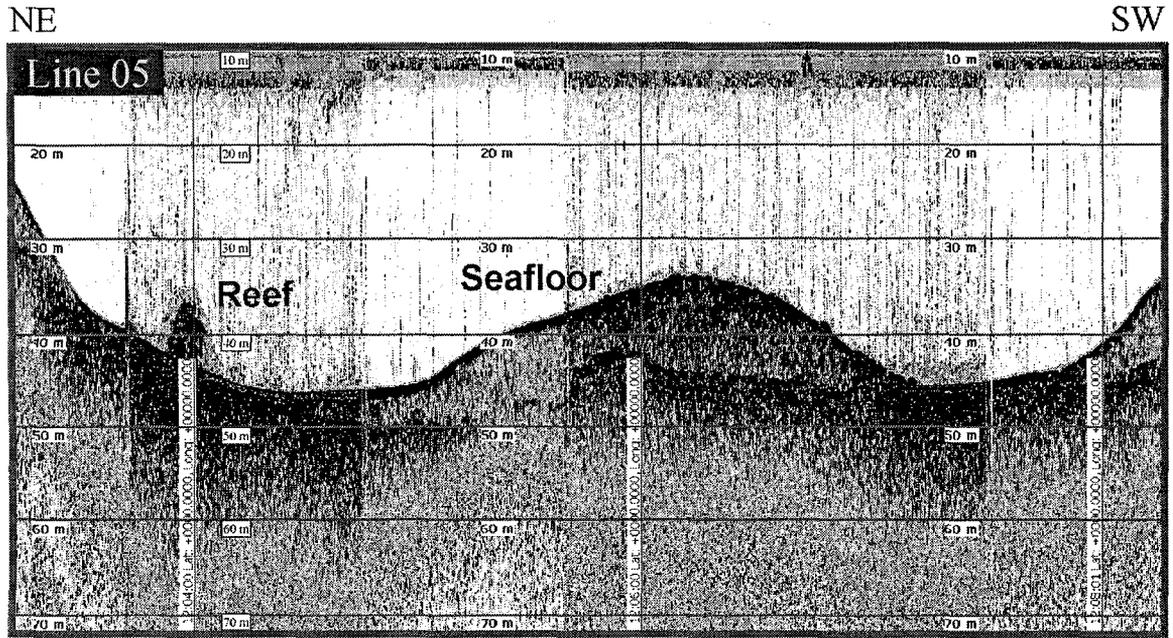


그림 20. 수암산과 곤리도 사이에 위치한 지역 A의 탄성과 단면도.

Fig. 20. Acoustic profile of site A situated between Suamsan and Gonri-do in the province of Kyongnam, Korea.

표 8. 인공어초 시설 예정지의 저질입도 및 전단강도

Table 8. Grain compositions and its shear strength of vertical sediment collected at the expected area of artificial reef installation by gravity corer

Station No.	Core Depth (cm)	평균입도 (Φ)	분급도 (Φ)	Gravel	Sand	Silt	Clay	퇴적물 유형	Shear Strength (kPa)
CORE 01	10	8.40	1.86	0.00	0.00	37.60	62.40	M	4.80
CORE 02	10	2.93	-	26.53	39.72	10.43	23.32	gmS	-
CORE 03	10	8.66	2.26	0.00	6.43	22.77	70.80	C	1.28
	20	7.96	2.32	0.00	7.82	32.40	59.78	M	2.37
	30	8.36	2.41	0.00	7.67	26.80	65.53	C	3.48
	40	8.07	2.77	0.52	12.63	18.28	68.57	(g)S	3.70
	50	7.91	2.80	0.00	12.07	26.10	61.83	sC	3.48
	60	7.96	2.48	0.00	7.66	33.10	59.24	M	3.04
	70	8.22	2.23	0.00	6.11	30.95	62.94	C	2.37
	80	8.65	2.36	0.00	8.90	20.72	70.38	C	3.70
	90	7.90	2.81	0.00	15.88	22.75	61.37	sC	1.71
	100	7.97	2.81	0.00	13.30	23.66	63.04	sC	6.35
CORE 04	10	7.69	2.76	2.57	7.49	31.28	58.66	(g)M	1.28
	20	7.03	3.22	1.35	18.42	31.63	48.60	(g)sM	6.13
	30	7.35	3.48	2.14	17.84	17.66	62.36	(g)sM	5.69
	40	7.37	2.08	0.00	3.72	56.19	40.09	M	12.09
CORE 05	10	8.16	1.78	0.00	0.80	42.58	56.62	M	1.28
	20	8.38	1.88	0.00	1.62	33.79	64.59	M	1.28
	30	8.29	1.91	0.00	1.00	37.23	61.77	M	1.90
	40	8.52	1.70	0.00	0.21	32.79	67.00	C	2.82
	50	8.25	1.85	0.00	0.39	38.83	60.79	M	1.49
	60	8.29	1.75	0.00	0.60	39.30	60.10	M	2.59
	70	8.33	1.77	0.00	2.16	36.16	61.68	M	3.92
	80	8.31	1.80	0.00	1.56	36.84	61.60	M	3.48
	90	8.31	1.76	0.00	0.70	39.02	60.28	M	1.28
100	8.34	1.83	0.00	0.55	38.71	60.74	M	3.48	
CORE 06	10	9.49	1.71	0.00	0.07	16.56	83.37	C	1.28
	20	8.70	1.79	0.00	0.07	32.94	66.99	C	1.28
	30	8.93	1.69	0.00	0.21	25.27	74.52	C	1.28
	40	8.87	1.79	0.00	0.05	26.40	73.55	C	1.28
	50	8.81	1.67	0.00	0.25	28.29	71.46	C	1.49
	60	8.72	1.67	0.00	0.04	29.89	70.07	C	1.71
	70	8.98	1.61	0.00	0.14	24.50	75.36	C	3.04
	80	8.99	1.76	0.00	0.98	24.78	74.24	C	2.82
	90	8.47	1.93	0.00	0.21	34.74	65.05	M	4.14
	100	8.40	1.84	0.00	1.55	35.02	63.43	M	4.14
	110	8.88	1.75	0.00	0.64	25.99	73.37	C	4.80
	120	9.27	1.65	0.00	1.11	18.92	79.98	C	4.36
	130	9.18	1.59	0.00	2.32	7.58	90.10	C	5.47
CORE 07	10	8.52	1.91	0.00	2.56	28.08	69.36	C	1.28
	20	8.33	2.05	0.00	2.29	35.07	62.64	M	1.28
	30	8.11	2.18	0.00	9.54	43.43	47.03	M	2.37
	40	8.22	1.93	0.00	1.74	36.63	61.62	M	2.82
	50	8.27	2.27	0.00	8.11	28.32	63.57	C	3.92
	60	6.81	3.46	1.66	28.80	18.25	51.29	(g)sM	2.37
	70	6.33	3.67	5.37	23.59	36.99	34.06	(g)sM	-

표 8. 계속

Table 8. Continued

CORE 08	10	8.08	1.82	0.00	0.71	43.03	56.26	M	1.49
	20	8.28	1.90	0.00	1.35	36.45	62.20	M	1.49
	30	8.05	2.08	0.00	1.44	41.46	57.10	M	1.49
	40	8.09	2.17	0.00	4.05	36.96	58.98	M	1.49
	50	8.06	1.81	0.00	0.36	44.36	55.29	M	1.90
	60	8.25	1.78	0.00	0.92	38.99	60.09	M	1.28
	70	7.70	2.58	0.00	9.93	32.69	57.38	M	3.04
	80	8.46	1.69	0.00	0.65	34.80	64.55	M	3.04
	90	8.25	1.91	0.00	0.50	38.64	60.85	M	2.59
	100	8.25	1.95	0.00	1.05	38.45	60.50	M	3.26
	110	8.21	1.99	0.00	1.46	38.81	59.73	M	2.37
CORE 09	10	7.50	3.12	4.31	5.93	33.14	56.63	(g)M	3.48
	20	7.35	3.08	3.35	10.89	27.31	58.45	(g)sM	-
CORE 10	10	6.88	3.15	0.69	20.16	30.88	48.26	(g)sM	3.04
	20	6.78	3.24	0.19	22.16	30.90	46.75	(g)sM	4.58
	30	6.90	3.43	0.79	27.25	21.46	50.50	(g)sM	4.36
	40	6.72	3.29	1.22	25.18	27.29	46.32	(g)sM	3.04
	50	7.27	3.12	0.42	19.90	24.81	54.87	(g)sM	3.92
CORE 11	10	8.19	1.87	0.00	1.65	38.78	59.57	M	3.26
	20	8.22	1.99	0.00	2.30	36.80	60.91	M	3.04
	30	7.93	1.99	0.00	1.16	42.60	56.23	M	2.59
	40	8.44	1.86	0.00	1.31	34.33	64.36	M	1.71
	50	8.08	1.96	0.00	2.59	40.34	57.07	M	2.37
	60	8.19	1.84	0.00	2.22	36.99	60.79	M	2.37
	70	8.34	1.72	0.00	0.84	35.51	63.65	M	3.26
	80	8.45	1.77	0.00	1.20	34.48	64.32	M	3.04
	90	8.42	1.78	0.00	1.09	33.84	65.07	M	3.48
	100	8.16	1.91	0.00	0.96	42.26	56.78	M	2.82
CORE 12	10	8.33	1.90	0.00	1.89	36.39	61.73	M	1.28
	20	8.30	2.01	0.00	1.29	35.09	63.61	M	1.90
	30	8.55	1.72	0.00	0.30	34.36	65.33	M	1.28
	40	8.58	1.65	0.00	0.56	34.31	65.12	M	3.04
	50	8.51	1.81	0.00	1.75	34.37	63.87	M	2.82
	60	8.86	1.82	0.00	0.47	27.37	72.16	C	1.49
	70	8.48	1.74	0.00	0.66	35.50	63.84	M	4.36
	80	8.18	2.14	0.00	5.06	32.55	62.39	M	4.36
	90	8.49	1.80	0.00	0.42	33.83	65.76	M	1.28
	100	8.47	1.65	0.00	0.39	33.12	66.49	C	1.90
	110	8.36	1.94	0.00	1.25	36.01	62.74	M	3.04
	120	8.46	1.84	0.00	0.38	35.23	64.38	M	2.82
	130	8.40	1.73	0.00	0.64	35.94	63.42	M	3.48
CORE 13	10	6.75	-	1.38	39.37	21.46	37.79	(g)sM	-
CORE 14	10	5.85	-	1.23	42.27	21.47	35.03	(g)sM	-
CORE 15	10	8.88	1.89	0.00	1.71	24.45	73.83	C	1.28
	20	9.09	1.80	0.00	1.47	21.64	76.89	C	1.71
CORE 16	10	3.98	-	2.64	52.89	19.13	25.34	(g)mS	-

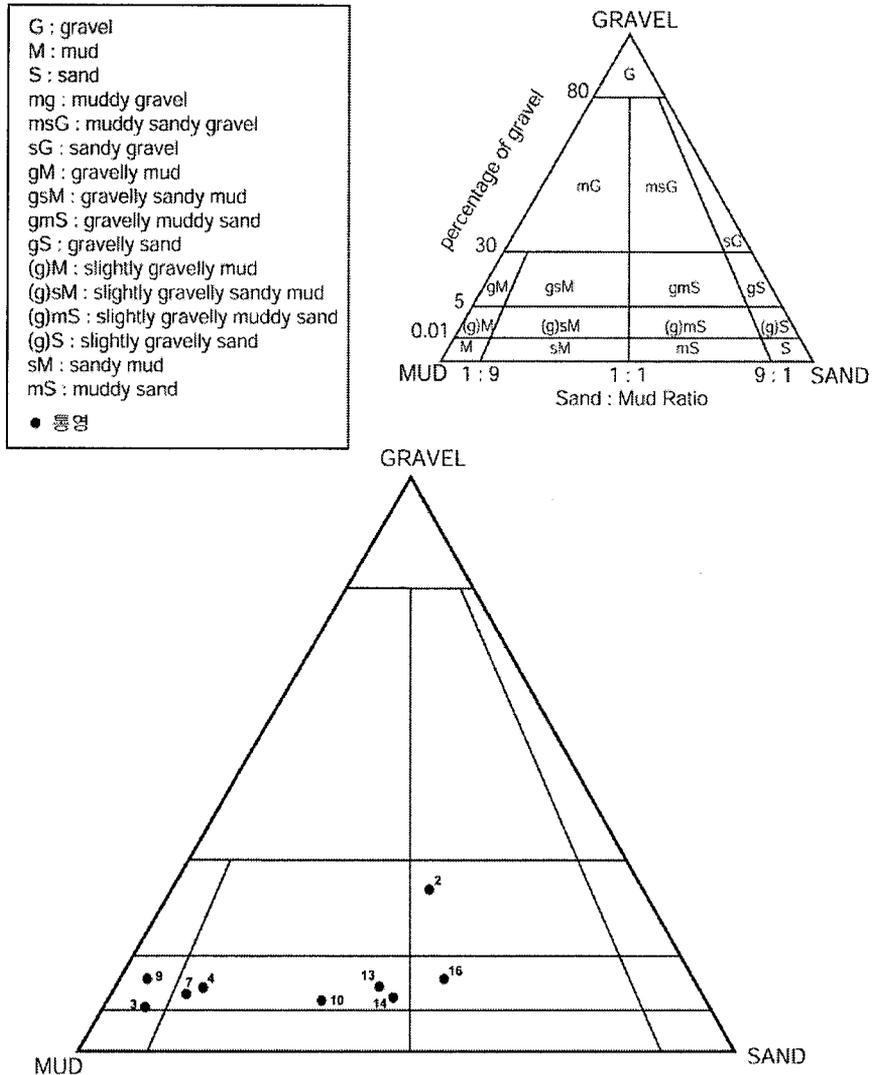


그림 21. 인공어초 시설 예정지의 퇴적물 유형 삼각다이어그램.

Fig. 21. Triangular diagram of the sediment type collected at the expected area of artificial reef installation by gravity corer.

나. 통영바다목장을 위한 어초의 최적 배치도

(1) 어초어장 조성규모 산정

어초어장을 조성함에 있어 대상 생물의 자원 및 생태에 적합한 어초배치는 상당히 중요한 요소이다. 통영해역 바다 목장화의 경우 조피볼락을 주 대상어종으로 하였으며, 참돔과 볼락 자원도 함께 증대하도록 하였다. 어업대상 어구는 낚시와 연승으로 하였다. 어초어장의 기능별 조성을 위해서는 패류용 어초, 자치어용 보육초, 미성어 육성초, 친어 보호초, 성어 어획초 등으로 나누어 배치하는 방안을 검토하였다.

패류초를 조성함에 있어 전복초를 조성할 경우 필요한 조성면적을 구해 보면, 연간 전복의 증중량을 1,000톤으로 할 경우 필요한 해조류량은 먹이전환 효율 0.07, 생존율 0.7

이라면 49톤이 된다. 시설된 인공어초가 m^2 당 4.0 kg의 해조류 생산이 가능하다면 49톤의 해조류를 생산하는데 필요한 표면적은 12,250 m^2 가 된다. 반구형 어초(Φ 1.3×2.0 m)의 경우 표면적이 6.87 m^2 이므로 필요한 어초 수량은 1,783개가 된다. 성어를 대상으로 하는 어획용 어초의 경우 증산량을 20톤, 인공어초 어장의 m^2 당 어획량을 2.0 kg이라 하면 사업량(어장 조성 규모)은 10,000 m^2 가 된다. 상자형 어초(3×3×3 m)의 경우 약 370개가 소요된다. 여기서 증산량은 다음과 같이 구할 수 있다(日本宮城縣, 1986).

$$\begin{aligned} \text{증산량} &= \text{어종별 CPUE (어초어장 - 일반어장) (kg/어구 사용폭수)} \\ &\quad \times \text{적당 노력량 (어구 사용폭수/척)} \\ &\quad \times \text{조업 일수 (일/년)} \\ &\quad \times \text{조업 척수 (척/일)} \end{aligned}$$

(2) 어초어장의 최적 배치도

통영해역 바다 목장을 조성함에 있어 패류의 경우 주위에 암반이 없는 곳에서는 그림 22에서와 같이 어초를 서로 연계하여 병렬로 시설하는 것이 바람직하다고 생각된다. 그러나 암반이 있을 경우 암반과 조합시켜 분산 배치하여도 좋을 것이다. 자치어용 보육초나 미성어 육성초는 기와초와 같이 내부구조가 복잡한 어초를 시설해야 하며, 어초의 시설 간격은 어초 시설 높이의 6배가 넘지 않는 것이 바람직하다. 친어의 보호초는 대상으로 하는 친어의 산란 생태에 적합한 구조를 갖는 어초를 시설해야 하며, 부착란을 산란하는 어류의 경우 표면적이 넓은 어초구조, 부성란의 경우 조류 등에 의해서 일산되지 않는 구조가 바람직하다. 이와 함께 난에서 부화한 치자어가 서식할 수 있는 보육용 어초도 친어용 어초와 함께 병행 시설하는 방법도 고려할 필요가 있다. 한편 조피볼락, 볼락, 참돔의 경우는 어초 단체를 그림 22에서와 같이 평면적으로 연속하여 배치하면 위집 및 어획면에 있어서도 효과가 높을 것으로 생각된다(日本山形縣, 1984). 실제로 통영해역 바다 목장화 조성지에 2000년 11월 28일 상자형 어초를 그림 3-3-23에서와 바둑판형으로 조성하였다. 또한 낚시나 연승의 경우 어군탐지기를 이용하여 어초 및 어군의 반응을 보면서 선박을 조정하여 조업하고 있어 어초로부터 선박이 떨어지게 되면 다시 어초로 돌아와 조업을 하기 때문에 어초군 조성시에는 그림 3-3-24와 같이 평면적으로 넓게 하여 시설함이 좋을 것이다. 연승의 경우 어초로부터 100 m 이내에서 많이 조업하고 있기 때문에 단위어초 간의 간격도 되도록 좁게 하는 것이 바람직하다고 생각된다. 어초군 내에서 단위어초 간의 거리는 조피볼락과 같이 I형 어류의 경우 400 m, 방어와 같이 III형 어류의 경우는 600 m로 함이 좋을 것이다. 한편 어초군 내의 단위어초 규모는 앞서 언급한 사업량의 계산 값으로부터 결정할 수 있을 것이다.

통영해역 바다 목장화의 경우 대상 자원의 증대기술과 관련해서 2가지 개념이 도입되었다. 하나는 기존자원의 증강이고, 다른 하나는 현재 고갈되어 있는 자원을 방류를 통하여 적극적으로 조성하는 것이다. 특히 전자의 경우 참돔과 같이 어종에 따라 계절회유를 하는 어종이 많으므로 어도 상에 어초를 배치함으로써 자원증강을 기대할 수 있을 것이다.

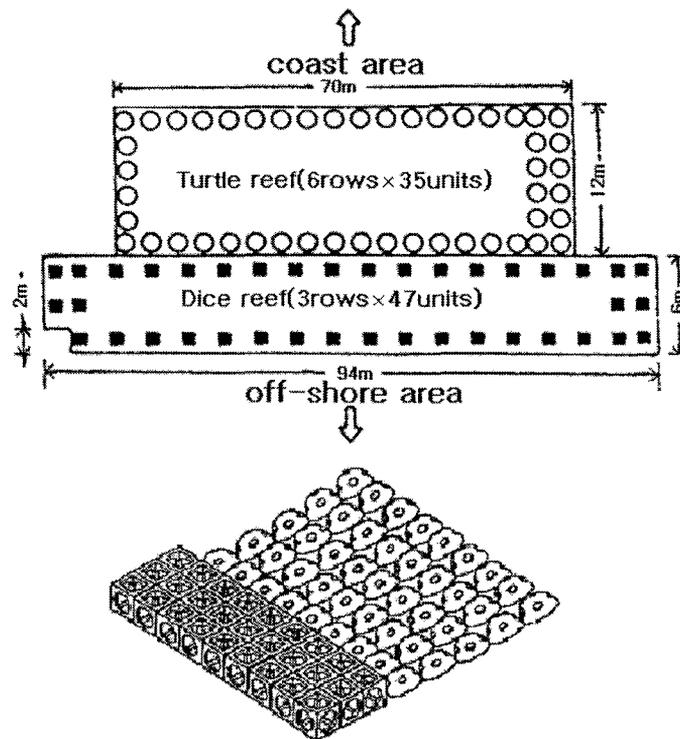


그림 22. 패류용 어초 시설 예.

Fig. 22. Example of artificial reef creation for shellfish.

이에 적합한 어초 배치형태로는 그림 25와 같은 깔때기형 배치가 적합할 것으로 생각된다.

어초 종류에 따른 어초배치 형태의 유형으로는 소형어초(높이가 3 m 이하)와 대형어초(높이가 3 m 이상)를 병행(並行) 시설하든지, 강제어초와 콘크리트 어초 혹은 그림 3-3-26에서와 같이 강제 침선어초와 콘크리트 어초를 조합하여 시설하는 것도 좋은 방법 일 것이다. 그러나 여기서 제시된 최적 배치도는 범용성을 갖는 모델이라 할지라도 동 배치를 보다 효율적으로 활용하기 위해서는 별도의 조사를 수행한 후 현장여건에 맞게 탄력적으로 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다

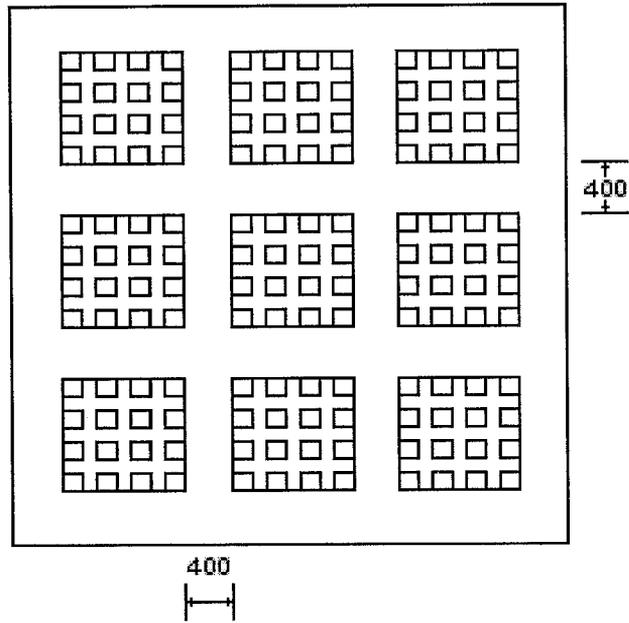


그림 23. 어초군의 시설 예(바둑판 형 배치도)

Fig. 23. Example of deployment of artificial reef group (Paduk board type).

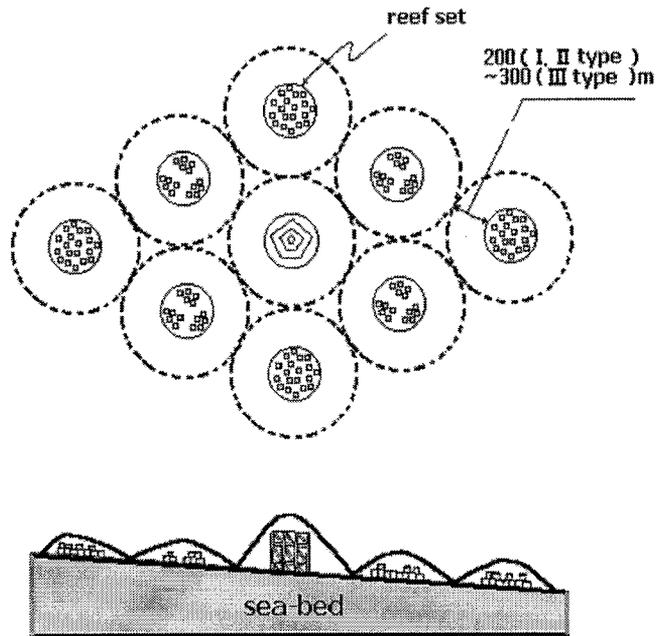


그림 24. 어초군의 시설 예(마름모형 배치도).

Fig. 24. Example of deployment of artificial reef group (Diamond type).

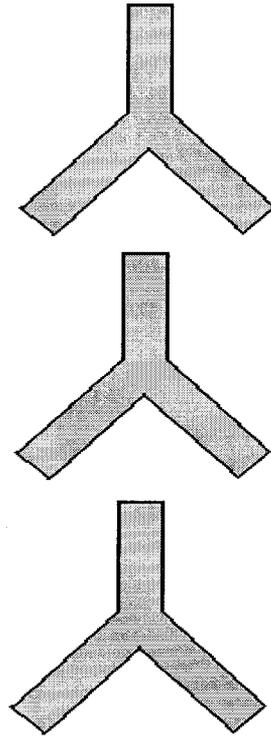
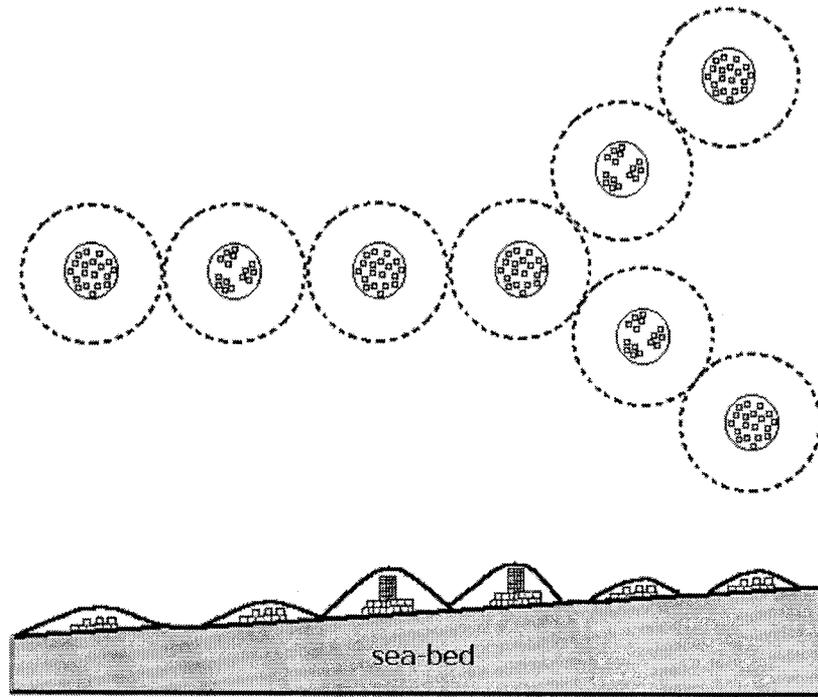


그림 25. 인공어초 군의 시설 예(깔때기형 배치도).

Fig. 25. Example of deployment of artificial reef group (Funnel type).

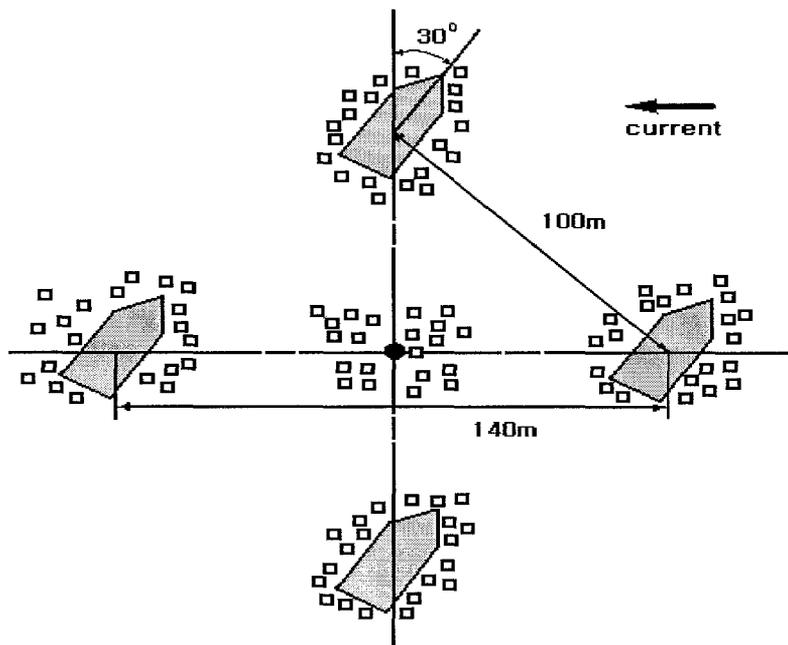


그림 26. 강제 침선어초와 콘크리트(강제) 어초와의 조합한 시설 예.

Fig. 26. Example of fishing ground creation by combination steel sunken boats with concrete (steel) fishing reefs.

4. 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사 가. 통영바다목장 내에 시설된 인공어초의 기능성 조사

(1) 콘크리트 강도조사

인양된 콘크리트어초는 종류와 시설연대에 관계없이 균열은 발견되지 않았다(그림 27). 또한 콘크리트 부식이나, 철근부식도 발견되지 않았으며, 후자와 관련해서는 시설시 부분 파괴되어 노출된 철근은 검붉은 색으로 덮여있었다. 이것은 해수 중에서 철근이 부식됨을 의미한다. 한편, 부착생물에 의한 균열도 확인되지 않았다.

한편, 채취한 코아의 압축강도는 25년 경과한 어초는 9.9 N/mm², 23년의 것은 15.0 N/mm², 21년과 18년 경과한 어초는 12.2, 21.4 N/mm²를 각각 나타내었다(그림 28). 그림 24에서 알 수 있는 바와 같이, 어초의 시설 경과 연도별 반발강도 값과 코아의 강도 값은 서로 경향이 다르게 나타났으며, 21년과 25년 경과한 어초에서 코어강도 값이 낮게 나타났다.

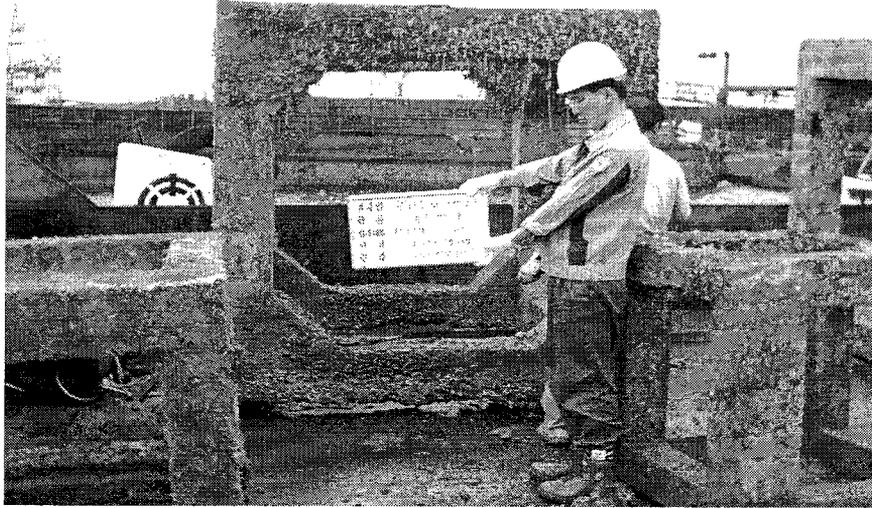


그림 27. 콘크리트 중형사각어초(2×2×2 m) 외관조사 광경.

Fig. 27. Viewing of observing the surface of a medium concrete reef (Dice).

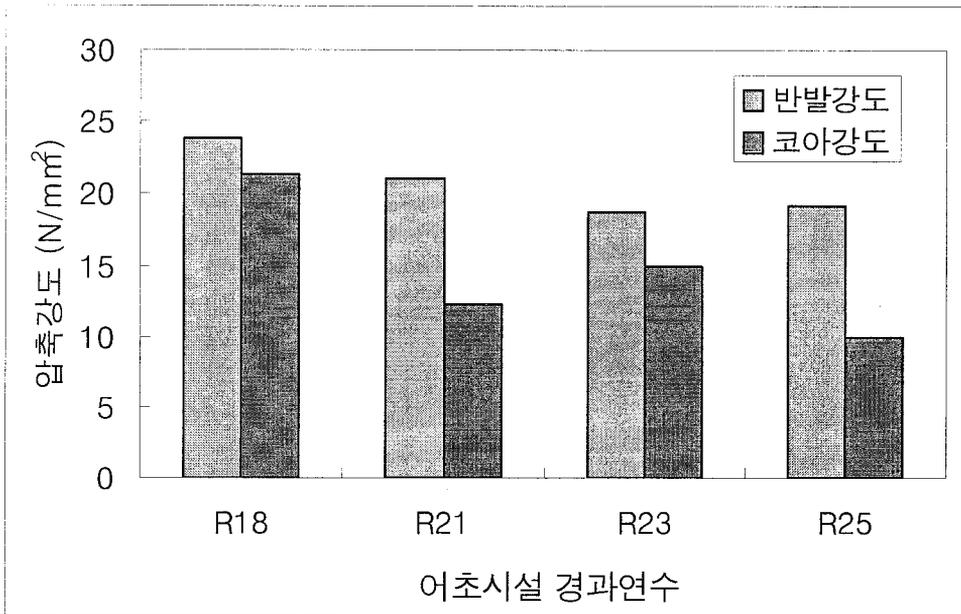
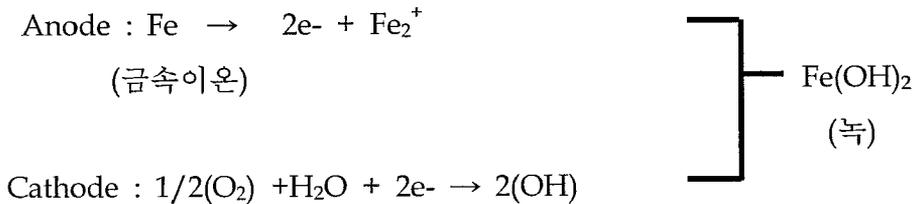


그림 28. 반발강도 시험(Schmidt Hammer Test) 및 코어에 의한 압축강도. 그림에서 R18은 어초의 시설 경과연수가 18년을 의미한다.

Fig. 28. Comparison of strengths of concrete reef by Schmidt Hammer Test and core test. R18 in the Fig. indicates a 18-year-concrete reef.

(2) 철근부식조사

콘크리트 내에서 철근은 아주 얇은 FeO의 피막으로 덮여있다. 이 막은 부동태 피막이라고 부르고 있으며, 불침투성으로 알칼리환경에서 철근 표면에 강하게 고착되어 있다. 금속이온은 부동태 피막이 파괴될 때까지 양극반응에 이용될 수 없으나, 콘크리트 내의 pH가 11.5 이하로 내려가게 되면 파괴되어 부식을 일으키게 된다. 부식은 양극반응과 음극반응에 의해 일어나며, 금속이온이 녹으로 변하는 과정에서 체적의 팽창을 야기하게 된다. 체적의 팽창은 산화상태에 따라 다르나, 원래 체적의 6배에 이른다. 철근 부식의 주요 반응을 살펴보면 다음과 같다.



철근 부식은 Cl이온이 존재할 경우, Cl/OH의 비에 따라 차이는 있지만, 콘크리트 내의 pH가 11.5 이상일 경우에도 부동태 피막이 파괴된다고 알려져 있다. 그러나 이와 같은 이론은 산소가 공급되는 환경에서는 적용된다 할지라도, 산소가 상대적으로 적은 수심이 비교적 깊은 해양환경 하에서는 이런 메카니즘은 적용되지 않을 수도 있다.

그림 29, 30, 31, 32는 수심 30~40 m의 깊이에서 25년에서 18년간 경과된 콘크리트 어초의 철근 위치별 전위 값을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전위 값은 대체로 580~720 mV 정도였으며, 경과연도가 많을 수록 값이 크게 나타났다(그림 29, 30, 31, 32). 한편, 전위 값이 큰 폭으로 차이를 나타낸 곳은 균열된 곳에서 나타났으며, 확인 결과 Pitting이 확인되었다. 그러나 그 외 지역에서는 녹은 관찰되지 않았다(그림 33, 34).

본 조사 결과에서 알 수 있는 바와 같이 염분량이 많음에도 불구하고 콘크리트 어초 내의 철근에서 녹이 관찰되지 않았다. 이것은 여러 가지 원인이 있겠으나, 산소가 상대적으로 적다는 것이 큰 원인이라고 생각된다. 이러한 결과를 토대로 철근 피복 두께를 고려할 때 최소한 4 cm 정도면 바람직하다고 판단된다.

나. 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사

통영바다목장 내에 시설된 어초에 대하여 보강 및 재 시설 여부를 평가하였다. 평가를 하게 된 원인은 자원조성에 대한 인공어초의 기능이 시대적으로 변하고 있고, 어획방법의 발달로 인한 조업 규모의 합리적인 설정이 필요하며, 낚시, 연승, 자망, 권현망 등 업종간의 합리적인 어장 이용 방안의 모색이 필요하기 때문이다.

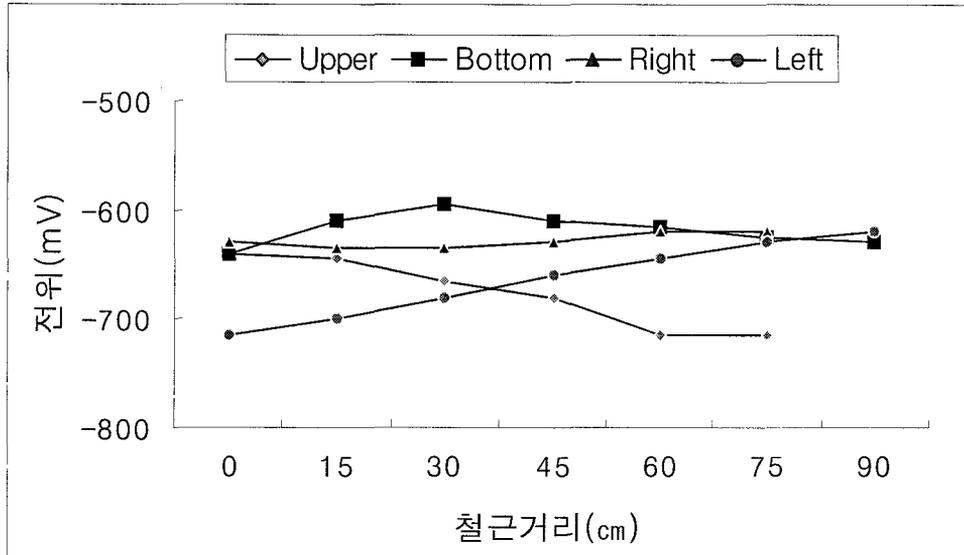


그림 29. 25년 경과 된 콘크리트어초의 철근위치별 전위 값.

Fig. 29. Potential of steel bar in 25-year-old concrete reef.

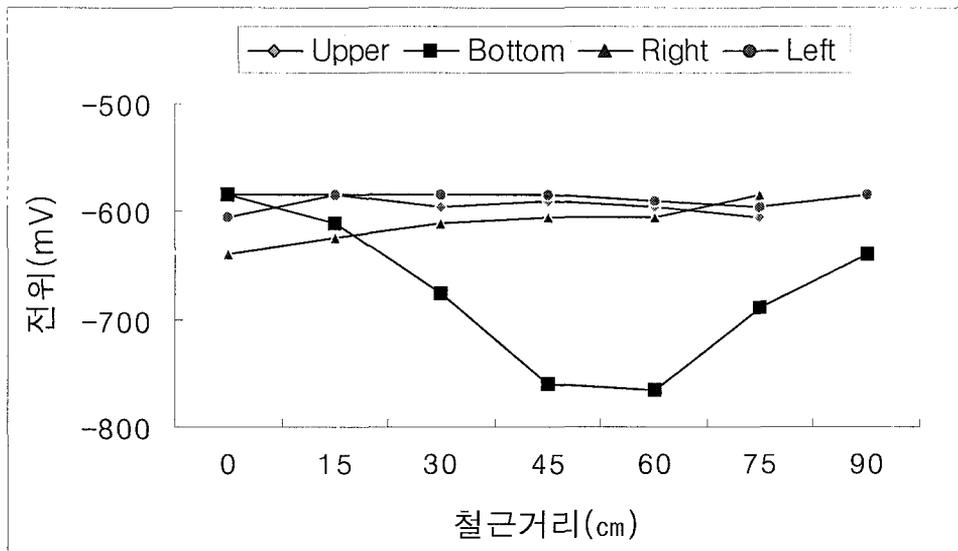


그림 30. 23년 경과 된 콘크리트어초의 철근위치별 전위 값.

Fig. 30. Potential of steel bar in 23-year-old concrete reef.

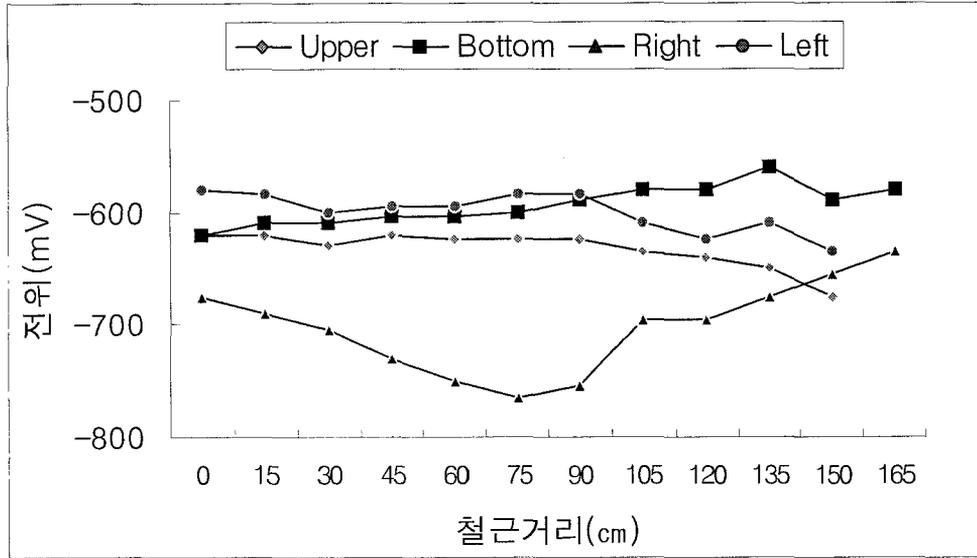


그림 31. 21년 경과 된 콘크리트어초의 철근위치별 전위 값.

Fig. 31. Potential of steel bar in 21-year-old concrete reef.

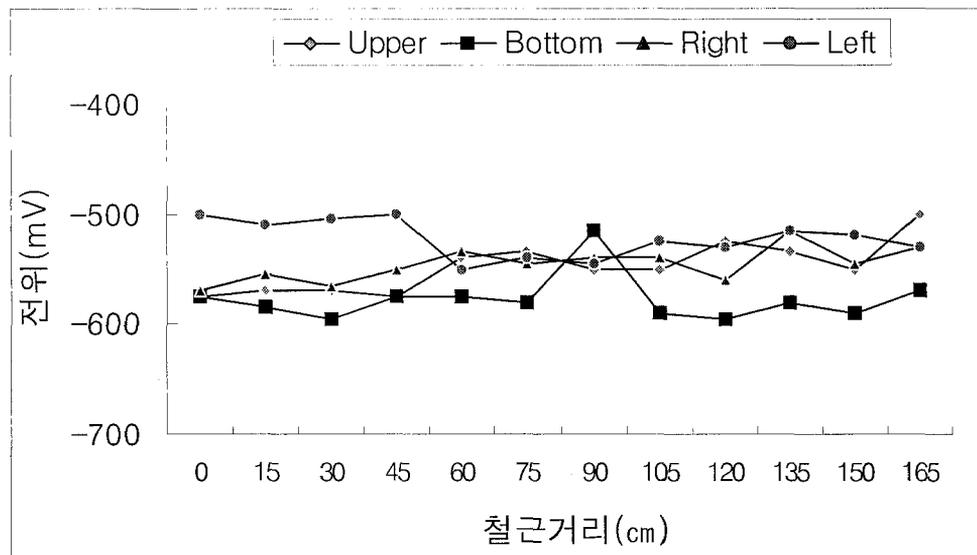


그림 32. 18년 경과 된 콘크리트어초의 철근위치별 전위 값.

Fig. 32. Potential of steel bar in 18-year-old concrete reef.

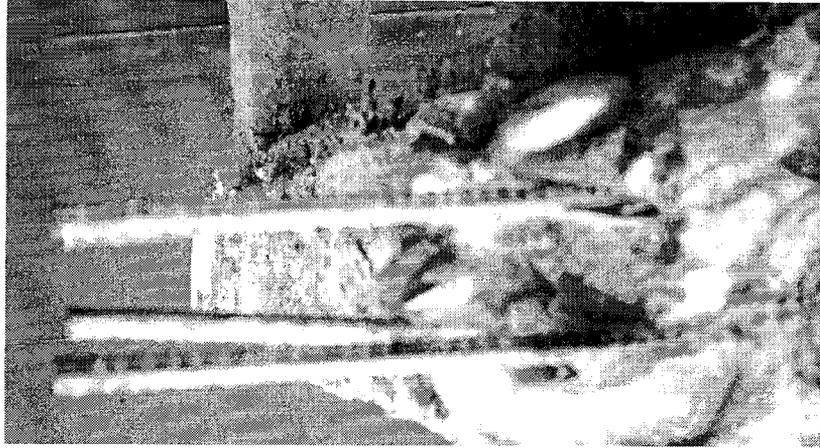


그림 33. 25년 경과한 콘크리트어초의 철근 상태.

Fig. 33. Conditions of steel bar in 25-year-old concrete reef.



그림 34. 23년 경과한 콘크리트어초의 철근 상태

Fig. 34. Conditions of steel bar in 23-year-old concrete reef.

통영바다목장 내에 시설된 콘크리트 어초는 집중 및 분산형태로 시설되어 있었다. 여기서 중요한 것은 현재 통영바다목장 내에 시설되어 있는 인공어초 시설량이 어류 위집 기능을 발휘하고 있느냐 하는 것이다. 어초의 어류의 위집기능과 관련하여 중요한 요소로는 어초의 높이, 면적 등을 들 수 있다. 넙치, 조피볼락, 볼락, 쥐노래미 등 I형 어류에 속하는 어종은 어초의 높이보다는 접촉자극에 영향을 주는 면구조에 강하게 반응하는 경향이 있기 때문에 넓은 면적을 갖는 어초구조가 필요하다. 이와 같은 면적 개념은 어초단체(單體) 하나 하나를 중첩시키지 않은 채 옆으로 배열하여 시설하는 경우로 어초단체 하나의 크기가 2~3 m인 것을 사용하여 평면적으로 넓게 시설배치하는 경우를 뜻한다.

통영바다 목장 내에 시설된 어초의 경우, 1978년부터 1981년까지는 1 m의 소형사각어초, 1982년 이후부터는 2 m의 중형 사각어초를 시설하였다. 시설량은 16 ha 1개소에

전자는 400개(400 空 m³), 후자는 100개(800 空 m³)이다. 한편, 우리나라에서 국가 지원사업으로 인공어초가 시작된 것은 1971년부터이며, 인공어초의 시설 목적은 산란장, 서식장, 휴식장 등 자원배양기능 이외에 소형 기선저인망에 의한 불법어업방지 기능을 겸하고 있다. 따라서 16 ha 1개소에 400 空 m³의 최소의 시설단위로 시설하여 보다 많은 곳에 분산 시설함으로써 불법어업을 방지하고자 하였다. 그러나 인공어초의 자원배양기능 입장에서는 400 空 m³의 시설량은 천연초를 보완해 주는 개념이며, 단독으로 시설하는 양은 아니다(일본수산청, 1997). 우리나라에서는 천연초를 보완해 주는 개념 대신 천연초가 없는 곳에 단독으로 시설하였으며, 어초시설 단지 간의 거리는 200~300 m로 하고 있다. 또한, 배치형태와 관련해서, 앞에서 언급한 바와 같이 어중에 따라서는 어초의 높이보다는 넓은 면적을 갖는 어초에 반응하기 때문에 분산되어 시설된 어초가 반드시 어초기능을 발휘하지 못한다고는 할 수 없다. 그러나 인공어초는 궁극적으로 어획의 장으로서 기능이 중요하기 때문에 현재의 입장에서 재 시설을 평가하고자 한다.

현재 어초의 기능은 자원배양기능을 중요시 하므로 대상으로 하는 종에 대하여 생태를 파악한 후 생태에 적합한 조건을 어초의 구조와 배치 등 시설에 반영하여 한다. 또한, 내유자원량과 이용 면적의 개념인데, 후자의 경우 인공어초의 인근 어업인들의 조업방법, 조업척수 등을 고려해야 한다. 그러나 이와 같은 자료는 체계적으로 조사하는 데에 2~3년 이상이 소요되기 때문에 본 조사에서는 현재 인공어초시설사업에 적용하고 있는 인공어초시설사업집행및관리요령에 의거 제시하였다(해양수산부, 2002).

기존에 시설된 어초지역에 대한 시설량 보강과 관련해서 1981년 이전까지 시설된 소형 사각어초어장의 집중적으로 시설된 곳에 대해서는 기존 시설된 곳으로부터 100 m 이내에 16 ha 1개소에 800 空 m³씩 2~3개소, 1981년 이후부터 시설된 어초어장에 대해서는 1~2개소를 보강 시설하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 여기서 어초의 거리를 100 m 이내로 제시한 것은 곤리도 중형 사각어초어장에서 알 수 있는 바와 같이 서로 인접된 어초어장에서 어획량이 높았기 때문이다. 곤리도 중형 사각어초의 시설형태를 평면도로 나타내면 삼각형상으로 된다. 동 형상은 조류에 대한 차단 면적이 넓고, 후류역이 증대되어 어류의 은신 및 먹이발생효과가 크다고 판단된다. 그러나 100 m 이내에 3개소 이상으로 시설할 경우 각 어초지역으로 둘러싸인 내부에서는, 즉 100 m 이내의 공간에서는, 조류소통이 원활하지 못하게 되고, 어류의 내·외부 간의 입·출입이 자유롭지 못해 오히려 어류 위집기능이 떨어질 위험이 있다.

다음은 분산 시설된 경우에 대해서 살펴보면, 앞에서 언급한 바와 같이 어초가 분산되어 있다고 해서 반드시 어초기능이 없는 것은 아니다(표 9). 다만, 삼치, 방어, 가다랑어 등과 같이 유체자극에 강하게 반응하는 회유성 어중에 대해서는 효과가 떨어지기 때문에 이에 대해서는 보강이 필요하다고 생각된다. 또한 참돔, 농어, 돌돔 등과 같이 보목적성을 갖는 II형 어류도 용적 개념이 중요한 요소이므로 함께 고려하는 것이 중요하다. 어초어

장은 대상 종의 자원배양을 목적으로 시설한다 하더라도 조성된 어초어장에 I~III형 모두가 출현하기 때문에 외해에 위치한 어초지역에서는 함께 고려하는 것이 필요하다. 따라서 섬들로 둘러싸여 있는 내만의 경우 높이 2 m 정도의 중형 사각어초를 기존 어초사이에 바둑판형으로 시설하는 것이 바람직하다. 보강해야 될 시설량은 16 ha 1개소에 기존 시설량과 합하여 600 ㄹ m² (2 m 중형 사각어초 약 50개 포함)가 바람직하며, 시설시 유념해야 할 사항은 용적 개념보다는 면적개념으로 하여 소형 사각어초어장의 경우 0.4 %, 중형사각어초의 경우 0.5 % 이상이 되도록 해야 한다.

IV. 결 론

1. 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초에 대한 시설위치확인 및 매물 특성조사

바다목장 조성지 200 km² 내에 시설된 연구용어초는 재질 별로는 강제어초가 10종(피라밋강제어초, 행동시험용 강제어초, 연약지반형 강제어초, 강제해조용어초, 육성용강제어초, 강선+피라밋강제어초, 신형강제어초, 2단상자형 강제어초, 로프-강제 복합어초, 원형강제어초), 콘크리트어초가 6종(상자형어초, 사각어초, 반구형어초, 연안다목적용어초, 조립식 사각형어초, 탄약운반선), 폴리프로필렌 어초가 2종(PP조립형상자어초, PP조립형 커텐어초) 목재 1종(목선어초), 기타 6종 등 모두 25종으로 확인 되었다. 한편, 통영바다목장조성지에 시설된 연구용어초 시설량은 사각어초(2×2×2 m)를 제외하면 329개이며, 안정된 상태로 시설되어 있었다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상의 지역에 어초시설을 위한 탄성파 조사

Site A 지역은 곤리도, 대장두도, 소장두도, 부도로 둘러싸인 지역으로 조사면적은 약 1.82 km² 이다. 이지역의 수심은 약 3~52 m 정도의 수심을 이루고 있는 지역으로 섬에서 조사지역 중앙으로 수심이 깊어지는 해저 지형을 가지고 있다. 조사지역 중앙(Line 04)을 지나는 탄성파 단면에서도 조립질 퇴적물로 인한 강한 반사면이 나타내고 있다. Site A에서의 전단응력은 1.28~12.09 kPa의 범위로 나타났으며 상대적으로 조립질의 함량이 많은 부분에서 높은 전단응력 값을 나타내었다. 이들 결과로부터 Site A 지역은 어초 시설시 매물은 크지 않을 것(적지)으로 판단된다.

Site B는 곤리도 서쪽지역으로 곤리도 서쪽해안에서부터 서쪽 방향으로 약 2 km 떨어진 지역이며, 조사 면적은 약 2.38 km² 정도이다. Site B 지역의 탄성파자료에서 음향기반압(acoustic basement)이 수심 약 55~68 m 정도에서 확인되었으며, 약 10~30 m 정도의

두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리가 잘 발달되어 있다. 전단응력의 경우 퇴적물 유형이 다른 조사지역에 비해 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있으며 전단응력 역시 이와 연관하여 1.28 - 5.47 kPa로 상대적으로 낮은 값을 보였다. 이들 결과로부터 Site B 지역은 어초 시설시 매몰(부적지)이 우려된다.

Site C지역은 부도와 소장두도 아래에 위치하고 있으며, 부도에서 남쪽방향으로 약 460 m 떨어진 지역으로 조사면적은 약 1.58 km² 정도이다. 조사지역의 수심은 약 20~53 m 정도이며, 남쪽지역보다 북쪽지역이 깊은 완만한 해저지형을 이루고 있다. Site C 지역의 탄성과 단면도에 Site A 지역처럼 비교적 수심이 얇은 남쪽지역에서 약 30 m 정도의 내부층리가 잘 발달된 층후가 확인되었다. 전단응력은 1.28~4.58 kPa로 나타났으며 정점 11을 제외하고 어초 시설시 매몰 우려(적지)는 적을 것으로 판단된다.

한편, Site D 지역은 수암산과 곤리도 사이에 위치한 지역으로 조사면적은 약 0.98 km² 이다. Site D 지역은 2~33 m의 수심을 이루고 있으며, 중앙에 2~3개의 암초(간출암)가 존재하고 있고 수심의 변화가 비교적 큰 지역이다. 일부 지역에서 해저면 상부 수 m에서 약 40 m 정도의 두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리 또한 잘 발달되어 있다. 조사 지역 중 조립질의 함량이 가장 높은 지역으로 정점 15를 제외하고 다른 세 정점(정점 13, 14, 16)에서는 그랩 채니기로 표층시료를 획득함으로써 전단응력을 측정하지 못하였다. 점토질 함량이 높은 정점 15의 경우 전단응력 값이 1.28~1.71 kPa로 다소 낮게 측정되었다. 따라서 정점 15를 제외한 조사 전 지역은 어초 시설 후 매몰이 적을 것(적지)으로 판단된다.

3. 수심 40 m 이상의 지역에 시설될 어초의 구조형태, 배치형태

통영 바다목장 내의 40 m 내에 시설될 어초의 적정 구조로는 지금까지 개발된 인공 어초와 달리 특정 어종(조피볼락, 참돔) 생태 및 저질 등 서식환경에 적합한 구조가 바람직하다고 판단된다. 내부 구조는 은신처가 많이 확보될 수 있도록 부재 간격을 좁게 설계하여 방류된 조피볼락 치어가 포식어에게 식해되지 않도록 하고, 외부 구조는 어초 바깥면을 면 구조로 하여 풍부한 음영을 갖도록 함으로써 미성어, 성어 등의 서식 및 산란에 적합하도록 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

통영해역 바다 목장화의 경우 대상 자원의 증대기술과 관련해서 2가지 개념이 도입되었다. 하나는 기존자원의 증강이고, 다른 하나는 현재 고갈되어 있는 자원을 방류를 통하여 적극적으로 조성하는 것이다. 특히 전자의 경우 참돔과 같이 어종에 따라 계절회유를 하는 어종이 많으므로 어도 상에 어초를 배치함으로써 자원증강을 기대할 수 있을 것이다. 이에 적합한 어초 배치형태로는 갈때기형 배치가 적합하다고 판단된다. 그러나 어초 종류에 따른 어초배치 형태의 유형으로는 소형어초(높이가 3 m 이하)와 대형어초(높이가 3 m 이상)를 병행(並行) 시설하든지, 강제어초와 콘크리트 어초 혹은 강제 침선어초와 콘크

리트 어초를 조합하여 시설하는 것도 좋은 방법일 것이다.

4. 통영바다목장 내의 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사 가. 20년 이상 경과된 어초의 내구성 조사

인양된 콘크리트어초는 종류와 시설연대에 관계없이 균열은 발견되지 않았다. 또한 콘크리트 부식이나, 철근부식도 발견되지 않았다. 한편, 채취한 코어의 압축강도는 25년 경과한 어초는 9.9 N/mm², 23년의 것은 15.0 N/mm², 21년과 18년 경과한 어초는 12.2, 21.4 N/mm²를 각각 나타내었다.

철근부식의 경우 수심 30~40 m의 깊이에서 25년에서 18년간 경과된 콘크리트 어초의 철근 위치별 전위 값 580~720 mV 정도였으며, 경과연도가 많을 수록 값이 크게 나타났다. 한편, 전위 값이 큰 폭으로 차이를 나타낸 곳은 균열된 곳에서 나타났으며, 확인 결과 Pitting이 확인되었다. 그러나 그 외 지역에서는 녹은 관찰되지 않았다.

나. 20년 이상 경과된 어초에 대한 보강방법 및 수량 조사

기존에 시설된 어초지역에 대한 시설량 보강과 관련해서 1981년 이전까지 시설된 소형 사각어초어장의 집중적으로 시설된 곳에 대해서는 기존 시설된 곳으로부터 100 m 이내에 16 ha 1개소에 800 空 m²씩 2~3개소, 1981년 이후부터 시설된 어초어장에 대해서는 1~2개소를 보강 시설하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 여기서 어초의 거리를 100 m 이내로 제시한 것은 곤리도 중형 사각어초어장에서 알 수 있는 바와 같이 서로 인접된 어초어장에서 어획량이 높았기 때문이다. 곤리도 중형 사각어초의 시설형태를 평면도로 나타내면 삼각형상으로 된다. 동 형상은 조류에 대한 차단 면적이 넓고, 후류역이 증대되어 어류의 은신 및 먹이발생효과가 크다고 판단된다. 그러나 100 m 이내에 3개소 이상으로 시설할 경우 각 어초지역으로 둘러싸인 내부에서는, 즉 100 m 이내의 공간에서는, 조류소통이 원활하지 못하게 되고, 어류의 내·외부 간의 입·출입이 자유롭지 못해 오히려 어류 위집 기능이 떨어질 위험이 있다.

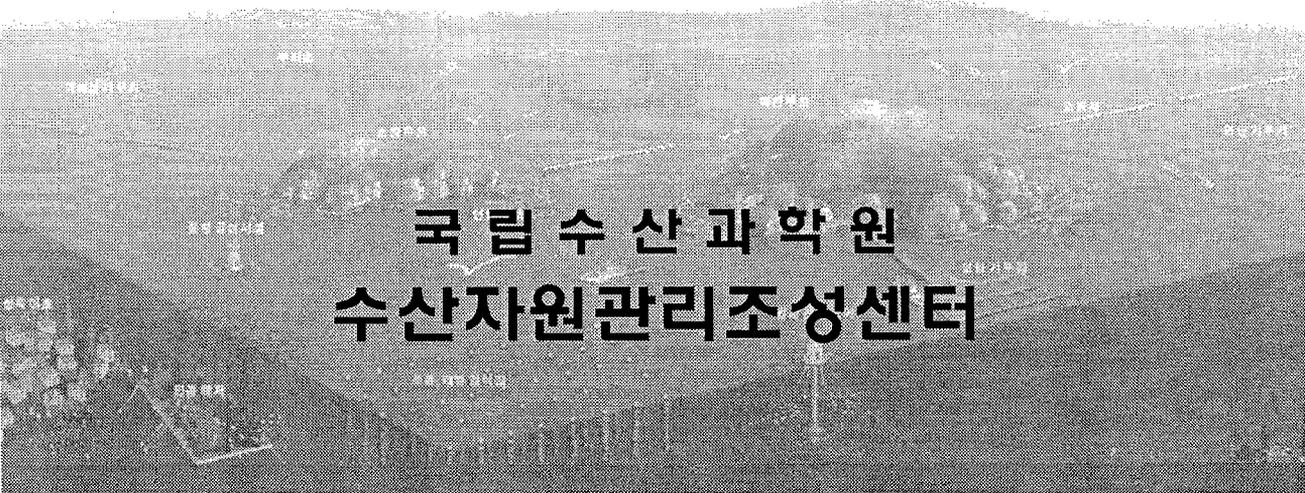
참 고 문 헌

- Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957. Brazos river. A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Petrology*, 27: 3-27.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks*, Hemphill's Austin, Texas, 170p.
- Galehouse, J.S., 1971. Sedimentation analysis. In: *Procedures in sedimentary petrology*. Carver, R.E. (ed.), Wiley-Interscience. 69-74.
- Ingram, F.L., 1971. Sieve analysis. In: *Procedures in sedimentary petrology*. Carver, R.E. (ed.), Wiley-Interscience.
- 日本水産廳, 1997. 人工礁漁場造成事業效果調査, 267-282.
- 日本農林水産技術會議事務局, 1989. 海洋牧場, 601-617.
- 日本山形縣, 1983. 人工礁漁場造成事業調査報告書, 95-104.
- 日本宮城縣, 1986. 宮城中部海域總合開發事業調査報告書, 645-654.
- 해양수산부, 2002. 인공어초 시설사업 집행 및 관리규정, P.133

통영해역 바다 목장화 연구 개발 용역사업 보고서
- 인공어초 조사

Study on the Development of Marine
Ranching Program in Tongyeong, Korea
- Survey of artificial reefs

2005. 4



**국립수산과학원
수산자원관리조성센터**

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 『2004 통영해역의 바다 목장 연구개발 용역 사업 보고서』 중 “어초조사” 의 보고서로서 제출합니다.

2005. 4

주관 연구기관 : 한국해양연구소

총괄 연구 책임자 : 김종만

협동연구기관 : 국립수산과학원

세부과제 책임자 : 김창길 (어초조사 연구)

연구원

국립수산과학원 : 김창길, 김호상, 서장우, 정달상, 김광수, 황진욱,
김두봉, 양경석, 오명환

한국해양연구원 : 김종만, 명정구, 박용주

요 약 문

통영바다목장 조성을 위한 인공어초연구는 1999년부터 시작하였으며, 동 기간동안 통영바다목장 조성지 내에 시설된 기존어초에 대한 모니터링, 40 m보다 얇은 곳에 시설 할 수 있는 상자형어초의 개발 등 6개 연구항목을 수행하여 왔다. 그리고 2004년도에는 통영 바다목장 조성지 내의 40 m보다 깊은 곳에 시설할 다기능고층어초를 설계하였다. 다기능 고층어초의 설계를 위해 고려한 항목은 물리적, 지형학적, 생물학적, 공학적 조건 등 설계 요인과 구조형태 및 배치 형태 등 3항목이다. 물리적, 지형학적 조건에서는 조류, 저층지형형상, 생물학적 조건에서는 어초에서 각기 다르게 반응하는 조피볼락, 참돔, 방어, 삼치 등의 어도, 공학적 조건에서는 바다목장 조성지 내에 시설된 기존어초의 공극율 등과 같은 구조해석 등을 수행하였다. 다기능고층어초의 구조형상은 조피볼락, 참돔, 방어, 삼치 등의 행동특성과 저질 조건 등을 고려하여 설계하였다. 또한 다기능고층어초의 배치형태는 해양학적, 대상어종의 생태습성, 바다목장 조성지 내의 어선 수, 어로 방법 등을 고려하여 결정하였다.

다기능고층어초는 조피볼락, 참돔, 방어, 삼치 등의 생물학적 요구조건에 적합하도록 설계하였고, 그의 크기는 30×30×30 m이며, 3부분으로 구성된다. 저면에서부터 10 m에 이르는 저층부는 조피볼락 등 면구조를 선호하는 어종에 적합하도록 설계하였고, 10~20 m의 중간부분은 참돔 등 테구조를 좋아하는 어종에 적합하도록 설계하였다. 한편, 20~30 m의 윗부분은 삼치, 방어 등 흐름자극에 반응하는 어종에 적합하도록 설계하였으며, 지붕부분에 철판을 부착하였다.

Summary

Artificial reef study for the construction of a marine ranching in Tongyeong coastal area has been carried out six subjects including monitoring of the existing artificial reefs and design of Box reef to install in the shallower waters than 40 m for five years from 1999 to 2003. And in 2004 multiple functional-high-story reef to install in the deeper waters than 40 m was designed. Three items to design a multiple functional-high-story reef were considered; design factor like physical, geological, biological and engineering conditions, structural form and its deployment. Physical and geographical conditions included water current and local topography, biological conditions contained a fish path of dominant fish species like rockfish (*Sebastes schlegli*), porgy (*Pagrus major*), yellow tail (*Seriola quinqueradiata*) and spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*), which behave differently on reef. And engineering conditions comprised reefness of dominant fish species and structural analysis like void space of the existing reefs. The structural form of a new reef, multiple-high-story reef, was designed on the basis of the behavior characteristics of black rockfish, porgy, yellow tail and spanish mackerel, and of topographic conditions like bottom sediment. Also deployment pattern of developed artificial reef was decided by oceanographic conditions, characteristics responses of black rockfish, porgy, yellow tail and spanish mackerel, the number of fishing boats and fishing methods used in Tongyeong coastal area.

Multiple functional-high-story reef was designed to meet the biological requirements of rockfish, porgy, yellow tail and spanish mackerel. Its size is 30 × 30 × 30 m and composes of three parts. The lower portion, which extends 10 m upward from the bottom, was designed for rockfish and caters to their preference for face structures, and the 10 to 20 m portion is was made for porgy, which prefer a frame structure. The section of 20 to 30 m was designed for yellow tail and spanish mackerel, and compose of tetrahedron which each face is attached with a steel plate to disrupt the current.

<표 차례>

표 1. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 저질입도 및 전단강도(김 등, 2004) 17

<그림 차례>

그림 1. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사지역. 4
그림 2. 바다목장 조성지 내의 B지역. 5
그림 3. 통영해역에서 1997년 2월에서 12월까지 채집된 자치어의 어초성 분류. 6
그림 4. 통영 어시장에서 1997년 2월에서 8월까지 조사된 성어의 어초성 분류. 6
그림 5. 우리나라에서 사용된 콘크리트 어초 4종. 14
그림 6. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도(김 등, 2004). 16
그림 7. 다기능고층어초의 형상 및 각 부분의 명칭. 19
그림 8. 다기능고층어초의 하층프레임 구조. 22
그림 9. 다기능고층어초의 제 1 중층프레임 구조. 23
그림 10. 다기능고층어초의 제 2 중층프레임 구조. 23
그림 11. 다기능고층어초의 제 3 중층프레임 구조. 24
그림 12. 다기능고층어초의 상층프레임 구조. 24

목 차

요약문	i
Summary	ii
표 목차	iii
그림 목차	iii
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	2
1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초 설계요인 구명	2
가. 서식어종 분석	2
나. 서식어종의 어초성 분석	2
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 구조형태 구명	2
가. 조피볼락 및 참돔의 서식생태	2
나. 대상어종의 성장단계별 적정 구조형태 분석	3
다. 대상 어초의 적정 공극율 분석	3
라. 내침하성 어초의 구조분석	3
3. 통영바다에 적합한 어초 설계	3
가. 어초 구조 형태	3
나. 어초의 특징	3
다. 설계된 어초 모형도	3
4. 설계된 대형어초의 적정배치형태 구명	4
가. 단위 어초별 배치거리 분석	4
III. 결과 및 토의	5
1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초 설계요인 구명	5
가. 서식어종 분석	5
나. 서식어종의 어초성 분석	5
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 구조형태 구명	7
가. 조피볼락 및 참돔의 서식생태	7
나. 대상어종의 성장단계별 적정 구조형태 분석	10
다. 대상 어초의 적정 공극율 분석	14
라. 내침하성 어초의 구조분석	14
3. 통영바다목장 구성에 적합한 어초 설계	18

가. 다기능 고층어초의 구조형태	18
나. 다기능 고층어초의 특징	20
다. 다기능 고층어초의 각 부분의 명칭	21
4. 설계된 대형어초의 적정배치형태 구명	26
가. 어초배치	26
나. 다기능고층어초의 배치	26
IV. 결 론	28
1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 설계요인 구명	28
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 구조형태 구명	28
3. 통영바다에 적합한 어초 설계	28
4. 설계된 대형어초의 적정배치형태 구명	29

참 고 문 헌

I. 서론

21세기에 들어 산업기술의 비약적인 발달로 인해 우리의 삶의 질은 훨씬 풍요로워졌으나, 한편으로는 많은 문제를 안고 있는 것도 사실이다. 우리가 안고 있는 중요한 문제점으로는 지구온난화, 식량문제 등을 들 수 있다. 국제연합식량농업기관(FAO) 등의 추정에 의하면 21세기 중엽에는 현재 인구의 2배인 약 100억명에 달할 것으로 추측된다. 이로 인해 현재 1인당 식량소비량을 기준으로 환산해 볼 때, 세계가 필요로 하는 식량은 현재의 2배로 달할 것으로 추정된다. 그러나 농업생산을 기본으로 한 육상에서의 식량생산은 황폐화한 사막의 비옥화, 아시아, 아프리카, 남아메리카, 오스트라리아 등 대륙의 미개발지에 대한 개발을 통하여 어느 정도의 증산이 기대되지만, 충분한 공급은 어려운 실정이다.

이와 같은 문제점들에 대한 해결은 앞서 언급한 바와 같이 대륙에서는 어려우며, 해양에서 해결할 수 밖에 없을 것이다. 일례로 광합성을 하여 이산화탄소를 고정함으로써 유기물을 만드는 생산력은 열대우림(熱帶雨林) 보다 바다에 서식하는 해조류(다시마)가 더 큰 것으로 알려져 있다. 1년간 1 m²당 2,000g의 탄소를 고정하는 열대우림이나, 1,200g의 온대낙엽수에 비해 양식 다시마는 4,800g의 탄소를 고정한다고 알려져 있다. 또한, 1986년 쏘아올린 인공위성 닌버스 7호로 연안역 수색센서에 의한 크로로필을 7년간 조사하여 분석한 결과에 의하면, 해양의 1차생산은 약 3,700~4,700 억톤/년(탄소)으로 추정되며, 육지에 비해서도 4~5배 정도의 크기이다. 따라서 우리가 처해있는 어려운 상황을 해결하기 위해서는 자원의 보고(寶庫)인 바다를 어떻게 잘 이용하고 관리해야 할 것인가에 지혜를 모아야 할 것이다. 이와 관련하여 여러 가지 대안이 있을 수 있겠지만, 무엇보다도 중요한 것은 생산력이 높은 연안역의 체계적 개발 및 관리라 할 수 있다.

연안 역은 각종 수산자원의 산란장, 보육장, 서식장으로서 역할을 하며, 어업자에게는 삶의 터전이요, 레저 이용자에게는 여가의 장으로서 제공된다. 따라서 연안 역을 어떻게 개발하느냐에 따라 삶의 질이 달라질 수 있다. 바다는 육지와 달리 자원의 이동이 심하기 때문에 관리하고 가꾸는 개념이 희박하다. 그러나 최근 들어 연안 역을 육지의 논과 밭처럼 가꾸려는 기술이 개발되고 있으며, 그 중 하나가 바다목장조성사업이다. 동 사업은 재배어업이 농작물의 재배를 이미지화 하여 수산자원을 인위적으로 육성하고 이것을 어획하는데 대하여, 목축업을 이미지화하여 자연환경 속에 방생한 후 필요할 때 어획을 하는 것을 말한다. 바다목장 사업은 양식과 같이 좁은 울타리 속에서 기르는 것이 아니고, 넓은 수역에 어린 물고기를 물속에 놓아 준 후 필요할 때 어획하는 것을 말한다. 즉, 대상생물의 서식환경에 적합한 인공어초어장을 조성하고, 그곳에 어린 물고기를 물속에 놓아 죽지 않고 성장함으로써 지속적으로 어획 생산성이 유지 및 증강되는 것을 의미한다. 외국에서는 15년 전부터 실시해오고 있으며, 우리나라에서도 1998년에 통영바다목장사업을

시작으로 현재 동, 서, 남해 및 제주지역에 1개소씩 선정하여 추진 중에 있다.

통영해역 바다 목장 개발 연구는 1998년부터 시작하였으며, 2000년까지는 바다 목장 조성에 필요한 기반조사를 실시하였다. 그리고 2001년부터 2004년까지는 조사된 자료를 토대로 바다 목장조성에 필요한 관련 기술을 적용하고 동 기술을 타 해역 바다목장 조성 시 적용할 수 있도록 수행 과정에서 나타난 문제점을 분석하고 관련 기술을 향상시켜 나아갈 예정이다. 2004년에는 통영바다목장 내에 시설할 어초를 개발하기 위해 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초 설계요인과 구조형태, 설계된 대형어초의 적정배치형태 구명 등 3개 항목에 대해 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초 설계요인 구명

가. 서식어종 분석

통영바다 조성지 내에 서식하고 있는 어종 분석은 현재까지 통영바다목장 연구 수행 과정에서 조사된 자료를 토대로 분석하였다.

나. 서식어종의 어초성 분석

어초성 조사는 곤리도를 중심으로한 통영해역에 출현한 어종을 이용하여 자치어와 성어에 대하여 실시하였다. 본 연구에서 이용한 자치어 및 성어에 대한 자료는 기존 자료를 이용한 것이다. 어초성은 어초에 대한 定位의 형태에 의해 3가지 형으로 분류하였다. I형은 어초에 몸의 대부분 혹은 일부분을 접촉시키는 어종, II형은 몸을 어초에 접촉시키지는 않지만 어초의 저면 및 윗부분의 주변을 유영하는 어종, 그리고 III형은 어초로부터 떨어진 표·중층 수역에 머무르는 어종을 각각 나타낸다. 그러나 동일 형이라도 어초와의 定位 관련 정도는 어종에 따라서, 그리고 동일 어종이라도 발육단계와 계절에 따라 각각 차이가 있기 때문에 자치어에 대한 어초성 분류는 다소 신뢰도가 떨어지지만, 어초 어장 조성시 산란초, 자치어 보육초 등의 성장 단계별 혹은 생태 습성별로 각 특성에 적합한 어장조성을 해야 하기 때문에 성어와 함께 분류하여 나타냈다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 구조형태 구명

가. 조피볼락 및 참돔의 서식생태

서식생태에 관해서는 실제 통영해역에서 조사 연구된 자료가 없기 때문에 기존 자료를 이용하였다. 이와 함께 동일 어종이라 하더라도 해역이나 계절에 따라 서식생태에 차이가 있기 때문에 기존 자료를 보강코자 통영해역 바다목장 조성지구인 곤리도 주변 해역에서 조업하는 어업인을 대상으로 현장을 방문 통한 청취조사를 수행하여 자료를 보강하였다.

나. 대상어종의 성장단계별 적정 구조형태 분석

어초의 설계에 필요한 조건으로 생물적 조건, 공학적 조건, 사회·경제적 조건 등으로 나누어 분석하였다. 생물적 조건은 어류의 魚礁性和 어초구조, 대상어종과 어초 구조, 공학적 조건에는 어초재료, 어초의 형상 및 비중, 대형어초의 적정 공극율 분석, 내침하성 어초구조 분석, 어초구조의 劣化억제 등을 기술하였다.

다. 대상 어초의 적정 공극율 분석

대상어초의 목표 어종에 대해서는 어초에 반응하는 3형(I, II, III형) 모두를 대상으로 하였으며, 적정 공극율에 대해서는 현재 우리나라에서 사용되고 있는 어초 중에서 콘크리트 어초와 강제어초를 대상으로 하였다. 전자의 경우 사각형어초, 반구형어초, 원통형어초, 잠보형어초 등 4종의 어초, 그리고 후자의 경우 2단 대형강제어초, 대형상자형강제어초 등 2종에 대해 공극율을 분석하였다.

라. 내침하성 어초의 구조분석

내침하성 어초의 구조분석은 곤리도 외측 $34^{\circ}47.900'$, $128^{\circ}20.550'$, $34^{\circ}47.900'$, $128^{\circ}21.667'$, $34^{\circ}46.000'$, $128^{\circ}20.550'$, $34^{\circ}46.000'$, $128^{\circ}21.667'$ 의 면적에 대해 조사된 탄성과 자료와 입도분석 자료(김 등, 2004)를 이용하여 분석하였다(그림 1, 2).

3. 통영바다에 적합한 어초 설계

가. 어초 구조 형태

어초의 구조 형태는 어초에 반응하는 3형 어종을 대상으로 하였으며, 어초의 높이별로 각 형에 적합하도록 설계하였다.

나. 어초의 특징

어초의 특징은 생물학적, 공학적, 사회경제학적 측면에서 기술하였으며, 기존어초와 비교분석하여 기술하였다.

다. 설계된 어초 모형도

어초의 설계도는 정면도, 측면도 등으로 나타내고, 각 부위의 명칭을 기술하였다.

4. 설계된 대형어초의 적정배치형태 구명

가. 단위 어초별 배치거리 분석

인공어초의 시설에 있어서 높이 및 면적 등의 어초규모, 배치형태 등은 어초어장의 생산성과 관련하여 중요한 요소이다. 이와 관련하여 어초배치는 대상어종의 생태, 수심, 潮流, 魚道, 이용어법 등의 요인에 의해서 결정된다. 본 연구에 있어서는 조피볼락의 생태, 시설수심, 潮流는 현장조사 자료와 기존 자료를 이용하였다.

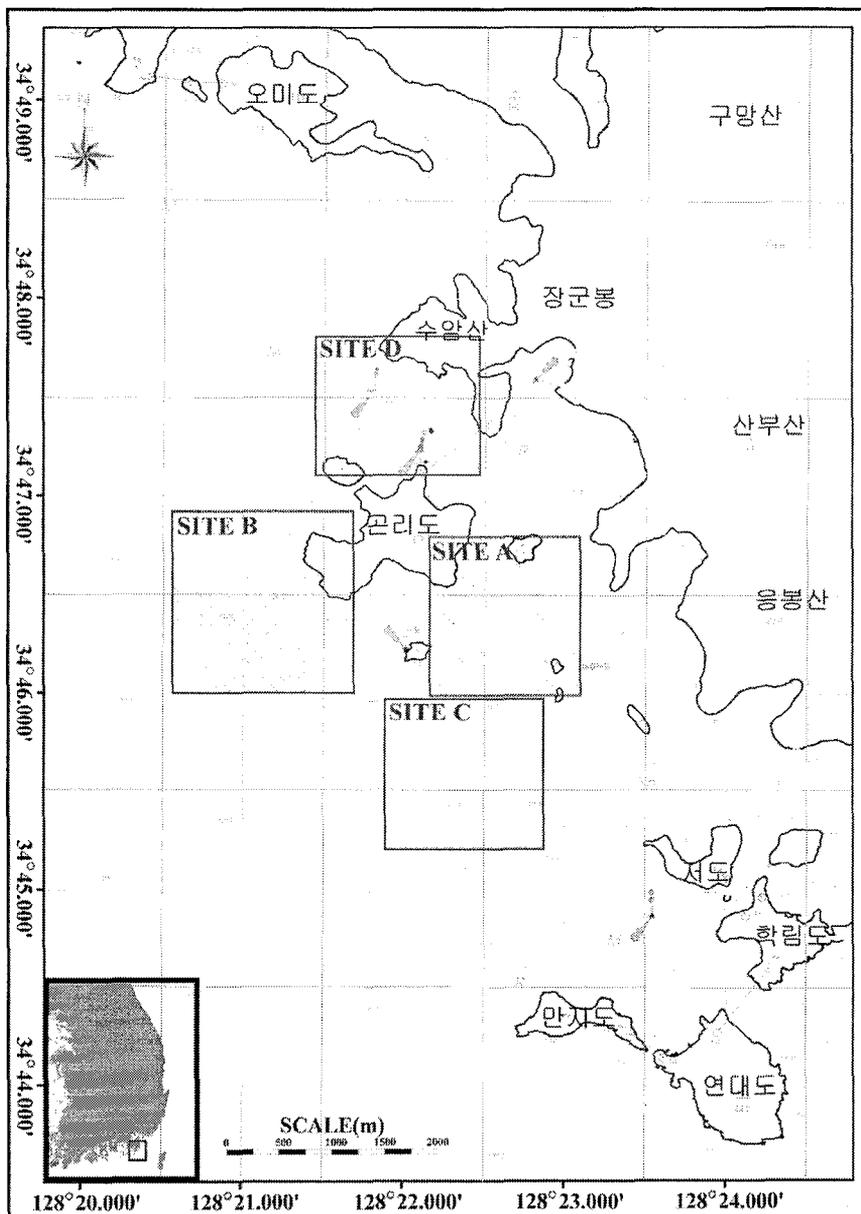


그림 1. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사지역.

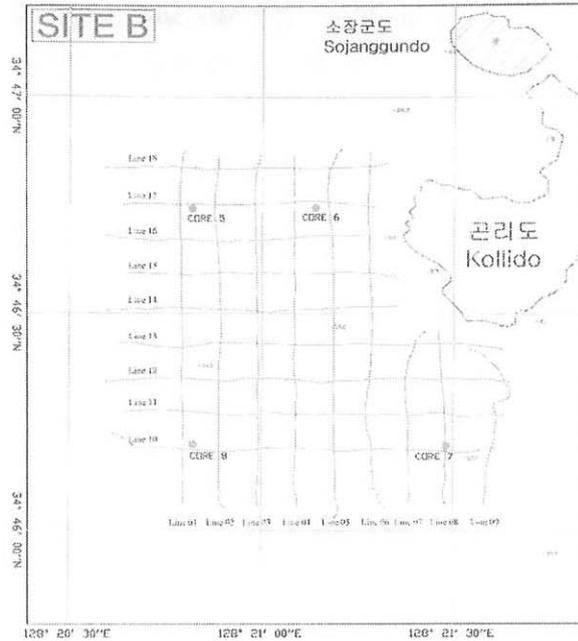


그림 2. 바다목장 조성지 내의 B지역 (곤리도 외측)에서 코어시료 채취위치.

Ⅲ. 결과 및 토의

1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초 설계요인 구명

가. 서식어종 분석

바다목장 조성에 의한 수산자원 조성효과를 극대화 시키기 위해서는 어장의 특성을 정확히 파악해야 한다. 여기서 어장의 특성이란 수심, 저질, 조류 등 물리적인 요소와 출현어종, 먹이생물 등 생물적 요소, 이용어법 등 사회적 요소 등이 복합적으로 작용하여 어획효과의 대소로 나타난 현상으로 설명할 수 있다. 이 중에서 가장 중요한 요소로는 출현어종(서식어종)을 들 수 있으며, 이것은 양적 개념과 관련 있다고 생각된다. 따라서 어초어장 조성 후 어획효과의 향상은 출현어종의 어초성을 얼마나 정확히 어초의 구조 및 배치형태에 반영하였느냐에 달려있다고 볼 수 있다.

1997년 2월부터 12월까지 통영 바다목장에 위치한 곤리도 인근 해역에서 채집한 자치어는 76종이었고, 1997년 2월부터 8월까지 통영 어시장에서 조사된 성어는 모두 89종이었다(김 등, 1999).

나. 서식어종의 어초성 분석

가 항에서 언급한 자치어 및 성어에 대해 어초성을 분류하면, 자치어의 경우 접촉자극이 강한 I형 어류는 조피볼락, 볼락 등 19종(25%)이었고, 시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류는 참돔, 감성돔 등 9종(12%)이었다(그림 3). 한편 성어의 경우 I형은 조피볼락, 볼락 등 19종 (21%), II형은 참돔, 농어 등 21종 (24%), III형은 방어, 고등어 등 8종 (9%)이었다(그림 4).

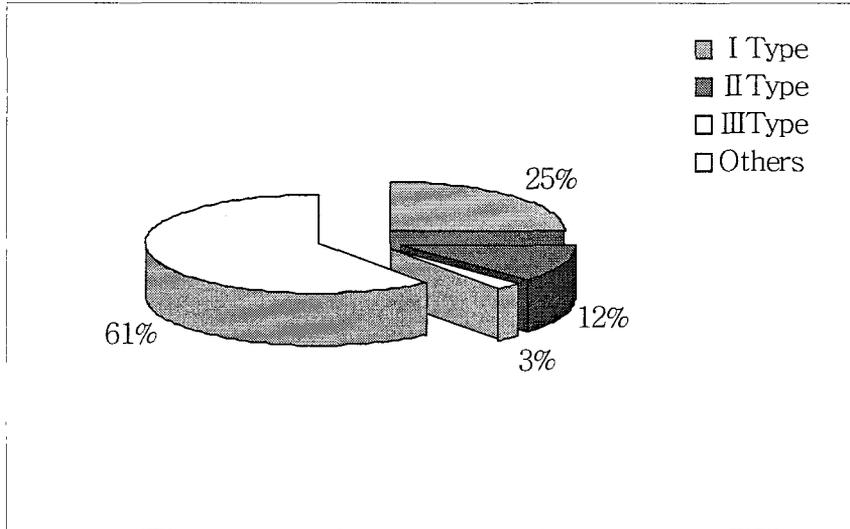


그림 3. 통영해역에서 1997년 2월에서 12월까지 채집된 자치어의 어초성 분류.

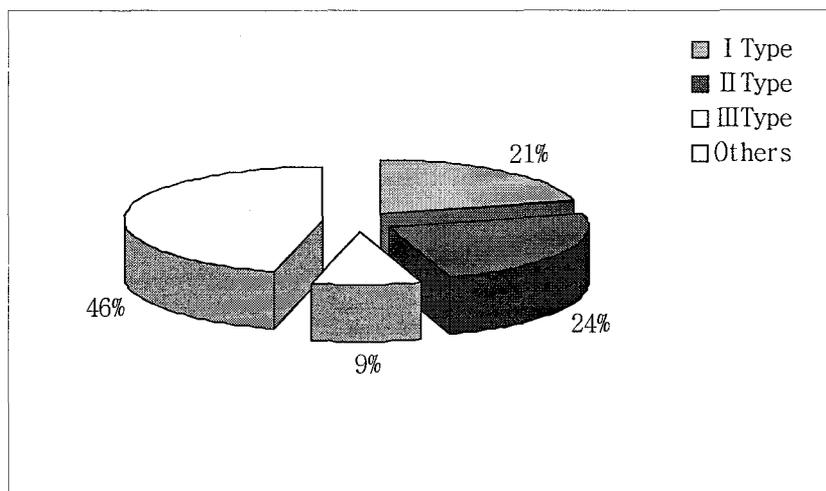


그림 4. 통영 어시장에서 1997년 2월에서 8월까지 조사된 성어의 어초성 분류.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 구조형태 구명

가. 조피불락 및 참돔의 서식생태

바다 목장을 조성함에 있어 대상생물의 생태를 충분히 파악하여 그 종이 갖는 생물학적 특성에 따라 개발방법을 결정하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 통영해역 바다 목장의 주 대상어종인 조피불락과 통영해역에 과거 많이 어획되었던 참돔을 대상 어종으로 한 어초어장을 조성하는데 이용될 어초를 설계코자 관련 어종의 서식 생태를 기술하였다.

(1) 조피 불락의 생태

(가) 분포 특성

시기에 따라 상당히 넓은 범위에 걸쳐 이동하며, 주로 수심 100 m 이천의 암초지역에 서식한다고 알려져 있다.

(나) 산란 생태

수정은 북부 일본해에서는 3월 하순~4월 상순경에 행하여지며, 4월 하순~5월 중순경에 출산한다. 출산한 직후 크기는 전장 6.3~6.8 mm 정도이다.

(다) 자치어 성육

출산한 자어는 주로 流藻에 붙어 표층생활을 하다가 7~9월이 되면 수심 10 m 以淺의 藻場으로 이동한다. 이때 크기는 4~6 cm 정도 이다. 그리고 11~4월의 겨울철에는 풍랑 등에 의해 연안역이 거칠게 되어 다소 깊은 곳으로 이동한다고 알려져 있다. 다음해 5월 경에 1세어는 다시 수심 10 m 이천의 藻場으로 이동하여 서식한다.

20 cm 이상의 성어는 일본해의 경우, 암초지역에서는 20 m 전 후, 轉石지대에서는 수심 20 m 이상 지역에 많이 분포한다고 알려져 있다. 계절별로 보면, 일본해 新瀉縣에서는 대형 산란군은 60 m 부근의 어초나 암초지역, 그리고 靑森縣에서는 4~6월경에 20 m 부근의 암초부근이나 轉石지역에 밀집한다고 알려져 있다. 8~9월에도 계속해서 암초주변에 머무르며, 10~11월경에는 연안의 먼 바다나 만 외부로 이동한다. 따라서 크기별, 계절별, 산란행동 등에 따라 深淺이동이 상당히 이루어진다고 알려져 있다.

(라) 인공어초에서 일주행동

인공어초에 조피불락의 日周행동은 야간에는 저층에 정지하고 있지만, 아침과 저녁에는 섭이를 위해 활발하게 행동한다.

(마) 성장

성장은 일본해의 경우, 만 1년에 전장 11 cm, 2년에는 20 cm, 3년에는 26 cm, 4년에는 29 cm, 5년에는 31 cm로 성장한다고 알려져 있으며, 불락속 중에서도 가장 성장이 빠른 종이다.

(마) 먹이

발육 단계별 먹이를 보면, 자어기에서는 요각류 등 프랑크톤, 치어기에는 단각류, 열각류, 中蝦, 소형 새우 및 소형 어류, 그 외 갑각류 유생, 유어 초기에는 대형의 中蝦, 소형 새우 및 소형 어류 이다. 전장 15 cm 이상으로 되면, 어식성으로 변한다. 조피불락의 먹이별 먹이 조성은 소형 갑각류 52%, 게류 30%, 새우류 7%, 오징어류 2%이다. 서식장소에 따라서 먹이 조성도 차이가 있으며, 체장 21 cm의 조피불락이 14 cm 정도의 쥐노래미를 포식한 예도 있다.

(2) 참돔의 생태

(가) 참돔의 생활사

동계의 저수온기를 깊은 곳에서 월동한 성어는 춘계에 수온이 상승함에 따라 산란회유를 시작하고 압초성의 산란장에 군집한다. 산란은 수온 14℃ 전후부터 시작하여, 18℃ 전후로 상승할 때까지 약 2개월 여에 걸쳐 계속된다(立石 等, 1982).

방출된 난은 표·중층으로 부유하다가 약 2~4일(수온 14 ~ 18℃)이 지나면 자어가 부화한다. 부화 후 3~5일 동안은 난황을 흡수하고, 후기 자어로 발육하면 요각류의 노플리우스와 와편모조류 등의 미소한 플랑크톤을 섭이하기 시작한다. 부화 후 약 1개월간 연안지역에 넓게 분산하여 부유생활을 마친 자어는 전장 10 mm 전후로 될 무렵부터 연안의 천해지역에 모이기 시작한다. 전장 10 mm 전후에 몸의 모든 기관이 급속하게 발달하며, 번태를 완료한 치어는 연안 천해지역의 자치어 성육장에 내유하여 저서생활로 이행한다. 해저생활로 이행할 시기의 전장은 대략 12~15 mm 정도이다(田中, 1979). 유치어 성육장이 형성된 장소는 수심 10 m 전후에서 저질은 中沙~細沙의 경우가 많다. 해역과 해에 따라서는 수심 30 m 전후까지의 모래로 조성된 저층이나 천해의 잘피장이 자치어 성육장으로 되는 것도 있다.

저서생활로의 이행기와 저서생활 초기의 치어는 성육장의 해저 바로 위에 밀집한 부유성 요각류의 *Acartia clausi*와 *A. steueri*를 주로 섭이하지만, 성장과 함께 저서성의 단각류와 열각류로 식성이 전환된다(木會, 1980). 이 시기의 일성장량은 0.7 mm 전후이며, 5월 중순에 15 mm 전후에서 착저한 치어는 6월 중순에는 35 mm 전후로, 7월 중순에는 60 mm 전후로 각각 성장한다. 이와 같은 성장과정은 年에 따라 다르며, 참돔의 치어 밀도, 경쟁종의 존재, 주요한 먹이생물의 양 등에 크게 영향을 받는다. 특히 가장 중요한 먹이인 요각류, 단각류, 열각류의 양은 그 年의 치어의 양적 수준을 결정하는데 중요하다. 연안 천

해의 성육장으로 부터 연안 먼바다 깊은 곳으로 이동하는 하계 전후로부터 추계까지는 食性도 열각류, 단각류로부터 대형의 다모류, 새우류, 게류 등으로 변한다(木會, 1985).

참돔 0세어는 연말에는 14 cm 전후까지 성장하며, 수온이 내려가는 동계에는 주로 50 m이심의 수층에서 월동한다. 이 시기에 0세어는 그다지 섭이하지 않고 성장은 거의 정체된다. 월동 후 춘계에 1세어로 된 참돔은 수온의 상승과 함께 천해지역으로 이동하고, 다모류와 새우류, 게류 등의 갑각류를 주로 섭이하며 성장한다. 이 시기의 1세어의 서식장은 0세어의 성육장을 포함하여 年에 따라 0세어의 분포와 성장에도 영향을 미친다(田中, 1986). 7~8월에는 18 cm 전 후까지 성장하면, 대부분의 1세어는 연안 천해지역으로부터 연안 먼바다의 수역으로 이동한다. 이와 같이 춘계의 수온 상승기에 있어서 깊은 곳에서 얕은 곳으로의 接岸회유와 수온하강기에 있어서 얕은 곳에서 깊은 곳으로의 離岸회유는 성숙이 시작될 때까지 미성어 기간동안 계속된다. 이 離·接岸회유의 범위는 성장과 함께 차차로 연안 먼 바다까지 이행된다. 개체군으로서 성숙 연령에 달하는 4세어로 되면, 이와 같은 接岸에 대하여 수직방향의 이동으로부터 육지 연안에 평행한 방향의 廣域회유로 이행한다(大内, 1980). 성어는 산란, 색이, 월동을 축으로 계통군에 고유의 회유를 행한다.

(나) 참돔의 성장

부유 생활기의 참돔 치어의 성장은 사육 조건하에서 치어의 성장 과정에 의해 추정될 수 있지만, 근년 耳石一周輪에 의한 年齡査定이 가능하며, 직접적으로 천연 자어의 성장을 추정할 수 있게 되었다. 조사 결과의 일례(田中, 1986)에 의하면, 부화 후 10일에 全長 약 3 mm, 20일에 6 mm, 30일에 11 mm(어느 경우도 고정과 인망시의 수압에 의해 10~20%정도 수축)로 성장한다. 이 값은 사육조건하의 성장과 거의 같은 정도이지만, 수온이 3~4°C 낮은 조건을 고려하면 천연 환경 하에서의 자어의 성장은 양호하다고 생각된다(田中, 1986). 부화 후 30~40일에 변태를 완료하여 성육장에 착저한 치어는 단각류와 열각류를 활발히 섭이하며, 수온의 상승과 더불어 급속히 성장한다.

치어기의 성장은 해역과 연도별 차이에 의한 가입시기와 먹이조건에 의해 또한 동일해역에 있어서도 수심과 저질 등에 의해서 상당히 달라진다고 알려져 있다. 미성어에서 성어까지의 성장도 해역에 따라 상당한 차이를 나타낸다. 해역에 의한 성장의 차이는 초기 성장기의 수온과 밀접한 관계가 있고, 또한 그것이 상대적으로 높은 해역은 대체적으로 그후의 성장기 수온도 높은 경우가 많다(落合, 1986).

(다) 성육 및 산란

참돔이 성숙을 시작하는 체장은 양성어나 천연산이나 거의 비슷하며, 개체수 50%정도 성숙한 암컷들의 가량이 체장은 26 cm, 거의 전 개체가 성숙한 것은 33 cm이다. 한편 수컷의 경우에는 가량이 체장 22 cm 전후에서 전 개체가 성숙한다. 양성어가 성숙에 달하

는 연령은 양성시의 수온과 먹이조건에 따라 다르지만, 수컷은 2년, 암컷은 3년에 거의 전 개체가 성숙한다. 이에 대하여 천연산은 대부분의 개체가 성숙하는 것은 암컷은 4세 어, 수컷은 3세 어이다(北島, 1978). 양성어가 천연산에 비해 성숙 연령이 약 1년 정도 빠른 것은, 양성어의 성장이 천연산 보다 빠르기 때문이다.

참돔의 산란장은 대개 수심 30~100 m의 구릉지로 비교적 용기가 풍부한 암초지역이다.

(라) 회유 및 이동

봄부터 여름까지 연안 천해지역의 성육장에서 자치어기를 보내고, 크기 90 mm 전후로 성장한 것은 9~10월에 수온이 하강하기 시작하면, 연안 먼바다의 깊은 곳으로 흩어진다. 12~1월에는 대부분의 0세어는 수심 50~60 m 이심의 월동장으로 이동하고, 거기서 동계의 수온하강기를 보낸다. 또한 발육과 성장이 늦어진 군과 전체적으로 성장이 지체된 해에는 상당량의 0세어가 인접한 해역에 남아 서식하는 것으로 알려져 있다.

월동한 0세어는 4 ~ 5월에 크기 10 cm 정도가 되어 연안지역으로 접안하며 활발하게 섭이를 한다. 그 후, 9월 이후 수온이 저하함과 동시에 다시 연안 먼 바다의 깊은 곳으로 이동하여 월동한다. 1~3세어는 기본적으로는 춘계의 接岸→索餌와 추계의 移岸→연안 먼 바다 월동이라는 계절적 이동을 반복하면서 점차로 분포 역을 연안 먼바다 쪽으로 넓혀 간다. 4세 이상의 성어는 등심선을 따라서 수평방향으로 이동하는 것이 많고, 광역적으로 회유를 행한다.

(마) 식성과 피포식

부화후 30일 전후까지의 부유생활기는 요각류의 노플리우스와 코페포다, 미충류, 기각류가 주요한 먹이다(鈴木, 1983). 치어로의 이행기로부터 저서생활 초기에는 淺海지역 부근의 저층에 밀집하는 부유성 요각류, *Acartia clausi*와 *A. steueri*가 주요한 먹이로 되며, 그후 성장함에 따라 요각류→단각류→계류→새우류→소형 새우 및 어류로 주요한 먹이생물이 변한다(木會, 1980).

0세어의 식성은 그의 분포 밀도와 환경 중의 먹이생물 조성 등에 따라 현저하게 변한다. 1세어의 식성은 0세어 만큼은 조사되어져 있지는 않지만, 다모류, 새우류, 계류등이 주요한 먹이이며, 그 다음은 단각류, 열각류, 소형 새우 및 어류를 각각 많이 포식한다(木會, 1985).

참돔 치어를 포식하는 종은 넙치, 방어, 조피볼락, 갯장어 등으로 알려져 있다. 야간에는 참돔 0세어가 해저에 착저하여 수면하기 때문에 이들의 포식어중 야행성 갯장어류가 가장 중대한 영향을 미치는 것으로 생각된다(落合, 1986).

나. 대상어종의 성장단계별 적정 구조형태 분석

(1) 생물적 조건

(가) 어류의 어초성과 어초구조

인공어초의 구조는 대상생물의 행동특성에 적합한 어초기능을 가져야 한다. 여기에서 어초기능이라 함은 해역에 시설된 인공어초가 대상으로 하는 생물에 의해 먹이장, 서식장, 휴식장, 산란장으로 이용되는 것이며, 대상생물의 행동특성은 어류가 어초에 반응하는 형태 혹은 어초와의 위치관계를 나타낸 것으로 어초성을 의미한다. 그러나 어초성은 어종에 따라 다르며, 또한 동일종이라 할지라도 발육단계 및 계절에 따라 차이를 나타낸다. 어초성은 어류의 감각기관으로 어초에 의해서 유발되는 환경을 감지함으로써 나타내는 습성이라 할 수 있으므로, 어류의 어초성과 어초의 구조를 고찰하면, I형 어종을 대상으로 하는 어초구조는 어체의 크기에 알맞은 공간을 가져야 하고, II형에 속하는 어류는 어초를 시계(視界) 내에 두고 어초 주위를 유영하기 때문에 어초 부재를 어류의 시계 내에 들어오게 하기 위해서는 어초의 간격을 2 m이하로 하는 것이 바람직하다. 또한 어초의 부착생물의 소리, 渦流, 亂流 등의 수압변동을 聽覺으로 감지하는 어류의 경우에는 어초부재로부터 亂流가 발생하고, 後流중에 剝離할 조건으로서 B를 部材폭, U를 유속으로 하여

$$BU > 100 \text{ cm} \cdot \text{sec} \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)를 만족해야 한다.

어초의 流影에 어체를 의지하는 어류나 플랑크톤 등을 위한 유속을 추정할 경우,

$$U' = U \left[\frac{1}{2} \pm \sqrt{\left| \frac{1}{4} - \frac{gF}{W_0 U^2 S} \right|} \right] \dots\dots\dots (2)$$

식 (2)로 행한다. 여기서 U, U'는 어초의 상류측, 하류측 유속, W₀는 해수의 단위중량, S는 어초 전체의 추정 射影면적, F는 어초에 작용하는 유체력을 나타낸다. 유속 추정식중 S항은 어초 부재 간의 간격도 포함된 包絡面의 射影면적을 나타낸다.

III형 어종을 대상으로 하는 어초구조는 표·중층의 어초 환경을 파악시킬 수 있는 형태여야 한다. 또한, 어초 높이가 높고, 흐름을 차단할 수 있는 기능을 가져야 하며, 流體音を 발생시킬 수 있는 구조여야 한다(全國沿岸漁業振興開發協會, 1986).

(나) 대상어종과 어초구조

인공어초의 單體는 소형의 것으로부터 대형의 것까지 각종의 형식을 생각할 수 있다. 특히 소형의 單體는 각각 集積되어 하나의 單位魚礁을 형성함으로 單位魚礁의 구조는 魚礁單體로서 뿐만 아니라 單位魚礁으로서도 검토해야 한다.

앞장에서 기술한 바와 같이 어초의 기능은 먹이장, 서식장, 휴식장, 산란장으로 집약된다. 그러나 그것은 어종, 성장단계, 계절, 時刻 등에 의해서 변하기 때문에 대상으로 하는 어종, 시기마다 어초의 반응관계를 명확히 해야 한다. 예를 들면, 돌돔 등은 먹이생물로서 부착생물, 방어 등은 전갱이 유어나 멸치류, 참돔 등은 갑각류 등이 많이 모이는 구조가 필요하다. 또한, 불락이나 쥐노래미 등은 먹이생물 분포 이외에 외적으로부터 보호 받을 수 있는 많은 공간과 음영이 필요하다. 화살오징어의 경우, 산란장으로서의 약 30cm 정도의 수평에 가까운 층상의 구조가 적당하다(新瀉縣水産試驗場, 1984).

어획을 목적으로한 인공어초에서는 어초에 모여든 어군을 어획하는 것이 필요함으로 魚礁單體 혹은 單位魚礁의 구조 및 규모는 생물의 측면에서 뿐만 아니라, 그것을 이용하는 어법 및 어선의 규모에 있어서도 중요한 사항이므로 대상어종과 이용어법과의 관계를 충분히 고려하여 어초구조를 결정해야 한다.

(다) 내구성적 조건

① 어초재료

어초 구조용 재료의 일반적 특성으로 요구되는 성질은 주로 해수 중에 어초공간을 갖을 수 있는 역학적인 것이어야 하며, 여기에서는 재료의 강도, 가공도 등만 기술한다. 어초에 요구되는 강도는 제작 또는 조립 시나, 투입 시 접촉 등에 의해서 部材가 파손되지 않아야 한다. 또한, 波力이나 洗掘 등에 의한 轉位에 의해서도 손상을 받지 않아야 한다. 어초 제작시 충격력은 어초의 중량, 충돌시 속도, 착저基盤의 반력계수, 충돌면의 형상 등에 의해 결정된다. 中村(1975) 등은 충격한 순간의 附加중량 σ_G 의 최대치를 다음식 (3, 4)과 같이 주고 어초에 가해진 외력($\sigma + \sigma_G$)을 단위중량으로 하여 정역학적으로 설계할 것을 제안했다.

$$\sigma_G = \frac{K}{V} \left\{ \frac{w_0 V v_0^2}{(2Kg)} (n+1) \left(\frac{\sigma}{\rho} + C_{MA} \right) \right\}^{n/(n+1)} \dots\dots\dots(3)$$

$$R = K \cdot \varepsilon^n \dots\dots\dots(4)$$

여기서, K는 基盤의 반력계수, W_0 는 물의 단위체적 중량, V_0 는 충돌 직전의 낙하속도, C_{MA} 는 附加질량계수, R은: 基盤의 충돌시의 반력, ε 는 基盤의 충돌시의 변위를 나타낸다.

어초 재료의 선정과 관련해서는 어종과 어기, 생태와 해역조건에 의해서 엄밀하게 적용할 수 있는 어초의 재질이 있을지 모르지만, 현재로서는 명확히 되어 있지 않다. 따라서 재질을 결정하는 요인은 시설해역의 지리적 조건에 대해서 어초시설 후 일정 기간동안 어초의 기능을 발휘할 수 있고, 경제적으로 효율적인 것에 초점을 두고 있다. 어초의 재료를 선정함에 있어 구입이 쉽고, 품질과 규격이 실용의 범위에서 일정하며 현지에서 제작 또는 조

립이 가능한 것이어야 한다. 또한, 취급이 용이하고 재료의 직접비용과, 제작, 가공, 조립, 운반, 투입 등에 소요되는 간접비용을 합산한 모든 경비가 타당해야한다.

② 魚礁의 형상 및 비중

어초의 형상을 고려할 경우, 光이나 흐름의 흔적(影)을 만들어 주는 형상, 성어와 자 치어가 함께 서식할 경우 자치어를 보호할 수 있는 형상, 어구의 이용 또는 제한하기 위 한 형상을 들 수 있다.

어초의 비중은 어초 설치위치의 저질조건, 파랑, 조류 등의 조건 등을 함께 고려하여 최적 비중을 결정해야 한다. 일반적으로 력질, 轉石, 암초인 곳에 어초를 설치할 경우, 어 초의 비중은 크게 하고, 사질이나 니질인 경우에는 비중을 적게하는 것이 바람직하다.

③ 어초구조의 劣化억제

콘크리트 劣化는 콘크리트 표면 혹은 내부에서 콘크리트의 역학적, 물리적 그리고 화 학적 성질 등이 유해하게 변하는 것이다. 이것은 1차적으로는 설계나 施工, 그리고 2차적 으로는 화학물질 혹은 해수 등의 暴露환경에 크게 의존한다. 콘크리트 劣化에 영향을 미 치는 요인으로는 타설, 養生, 乾燥收縮 등과 같은 콘크리트 질에 관한 내부적 요인과 온 도나 습도(물리적 요인), 유해한 화학 물질을 포함한 용액이나 가스(화학적 요인), 磨耗나 振動(역학적 요인) 등의 외부적 요인이 있다. 화학적 요인에 의한 劣化는 콘크리트 표면 으로부터 내부로의 유해한 화학물질의 浸透率에 의해 좌우된다.

해수에 의한 화학적 劣化과정은 CO_2 에 의한 $CaCO_3$, 유산염에 의한 $Mg(OH)_2$, 염화 물 염에 의한 $CaCl_2$, $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$, $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, $CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot CaSiO_3 \cdot 15H_2O$ 등의 형성, 그리고 알칼리骨材반응의 촉진 및 팽창에 의한다. 그러나, 劣 化의 정도는 구조물의 細孔용액의 飽和度나 水化物の 화학적 조성, 온도 및 구조물이 설 치된 장소(飛沫帶, 海中 등)에 따라서도 다르다. 환경에 따라서는 각종 이온의 相乘效果에 의해서 劣化가 조장된다든지 혹은 공통이온의 효과에 의해서 억제되는 경우도 있다. 여기 에서는 어초의 해수 중에 暴露에 따른 劣化의 영향중 鹽害와 알칼리骨材반응의 억제 측 면만을 콘크리트와 관련하여 검토한다.

콘크리트의 구조설계와 배합설계에 있어서 내구성을 정량적으로 정하는 것은 극히 어렵다. 해수에 대한 내구성을 갖기 위해서는 강도 및 水密性이 큰 배합을 설계해야 하 며, 鹽害 등에 대해서는 물~시멘트비가 0.4이하로 단위시멘트량은 300 kg/m^3 이상이 바 람직하다. 그리고, 細孔의 緻密化를 위해서는 시멘트 이외에 실리카 흙이나 高爐 슬래그 같은 添加材의 사용도 필요하다. 또한 알칼리骨材반응에 대해서는 시멘트에 포함된 알칼 리량이 等價 Na_2O 로 환산하여 0.6%이하인 것을 사용해야 한다(金, 1996).

다. 대상 어초의 적정 공극율 분석

어초를 설계할 때 공극율은 대단히 중요하다. 공극율은 대상 어종에 따라 다르며, I형 어류의 경우 70%이하, II형 어류의 경우 70 ~ 80%, 그리고 III형 어류는 95%이상으로 설계되고 있다(그림 5). 본 연구에서는 어초 설계시 어초에 반응하는 3형 모두를 대상으로 하였기 때문에 공극율을 각각 다르게 적용하였다.

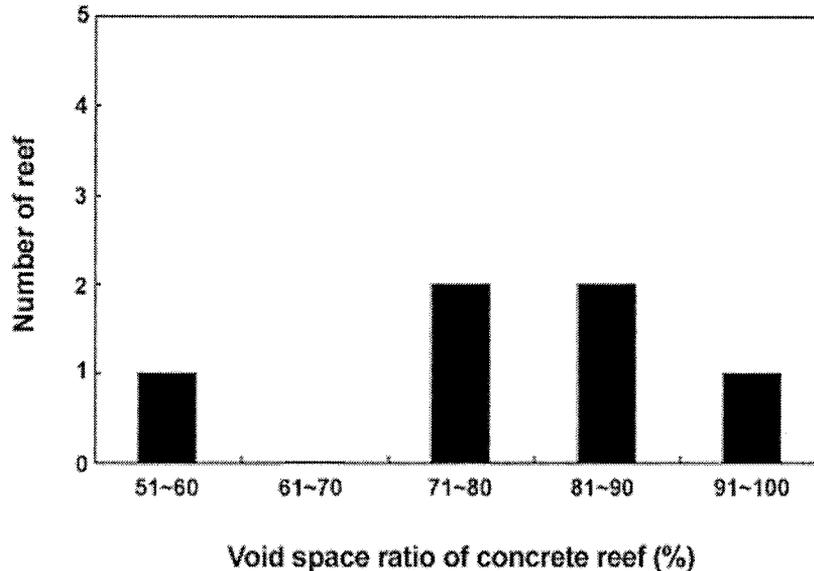


그림 5. 우리나라에서 사용된 콘크리트 어초 4종 (사각형, 반구형, 원통형, 잠보형)에 대한 공극율 비교.

라. 내침하성 어초의 구조분석

본 연구에서 어초를 설계함에 있어 통영바다목장 조성지 중 Site B를 이용한 것은 이곳이 수심이 40 m이상인 지역에 해당되기 때문이다. 조사 면적은 약 2.38 km² 정도이며, 탄성과 탐사측선은 총 18개로 약 150 m 측선 간격을 유지하면서 탄성과 탐사를 수행하였다(그림 6). 주상시료는 총 4개가 채취되었으며, 시료의 길이는 84~138 cm 정도이다. 이 지역의 수심은 2~55 m 정도로 이루어져 있으며, 곤리도에서 서쪽 방향으로 가면서 약 55 m의 최고 수심을 보이다가 점차 감소하며, 최고 수심이 나타나는 부분은 남북 방향으로 길게 골을 이루고 있다.

Site B 지역의 탄성과자료에서 음향기반암(acoustic basement)이 수심 약 55~68 m 정도에서 확인되었으며, 약 10~30 m 정도의 두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리가 잘 발달되어 있다. 수심 55 m의 곤리도 근처의 지역(Line 08)을 제외하고는 주상시료 분석결과 대부분 니질 퇴적물로 구성되어 있다. 이는 본 조사지역의 탄성과 단면과 잘 일치하고 있

다.

Site B에서 획득한 주상시료는 총 4개(정점 5, 6, 7, 8)였으며, 평균 입도가 6.33~9.49 ϕ 로 나타났다. 퇴적물 유형은 평균 입도에서도 알 수 있듯이 전반적으로 M (mud)가 우세하게 분포하고 있으며 다음으로 C (clay)가 우세하며 부분적으로 (g)sM (slightly gravelly sandy mud)로 나타났다(표 3-2-1). 정점 5에서는 총 110 cm의 시료를 획득하였으며 평균 입도는 8.16~8.52 ϕ 로 거의 균질한 니질 퇴적물로 이루어져 있다. 또한 퇴적물 유형 역시 M (mud)와 C (clay)로 전체적으로 유사하게 나타났다. 정점 6은 137 cm의 시료가 획득되었다. 평균 입도는 8.40~9.49 ϕ 로서 정점 5와 같이 거의 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있다. 그러나 정점 5에 비해서는 상대적으로 점토(clay)의 함량이 높게 나타났으며 퇴적물 유형에서도 C (clay)가 우세하게 나타났다. 정점 7의 경우 획득된 시료가 80 cm로서 다른 세 정점에 비해 하부에서 상대적으로 모래(sand)의 함량이 높게 나타났다. 평균 입도는 6.33~8.52 ϕ 이며 퇴적물 유형은 C (clay), M (mud), (g)sM (slightly gravelly sandy mud) 등으로 나타났다. 정점 8에서 획득한 시료의 길이는 116 cm이며 퇴적물 유형은 전체가 M (mud)으로 이루어진 균질한 상태를 나타났다. 평균 입도는 7.70~8.46 ϕ 를 보였으며 사질의 함량은 10% 미만이고 실트(silt)질 퇴적물보다 점토(clay)질 퇴적물의 함량이 조금 높게 나타났다.

한편, Site B에서는 퇴적물 유형이 다른 조사지역에 비해 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있으며 전단응력 역시 이와 관련하여 1.28~5.47 kPa로 상대적으로 낮은 값을 보인다(표 1). 일반적으로 해양퇴적물에서의 전단응력은 퇴적물 깊이가 깊을수록 다짐, 속성작용에 의해 점진적인 증가를 보이는데 site B에서 역시 정점별 전단응력은 부분적인 입도별 함량에 의한 차이는 있으나 하부로 갈수록 퇴적물 다짐작용에 의해 점진적인 증가를 보인다.

상기 자료를 토대할 때 어초의 단위하중 당 무게를 되도록 적게하여 설계할 경우 어초의 자중에 의한 매몰의 우려는 적을 것으로 판단된다. 그러나, 지나치게 매몰을 의식할 경우, 조류 등 수평하중에 의한 전도의 우려가 있기 때문에 매몰과 전도가 일어나지 않는 단위하중 값을 선택하는 것이 바람직할 것으로 생각한다.

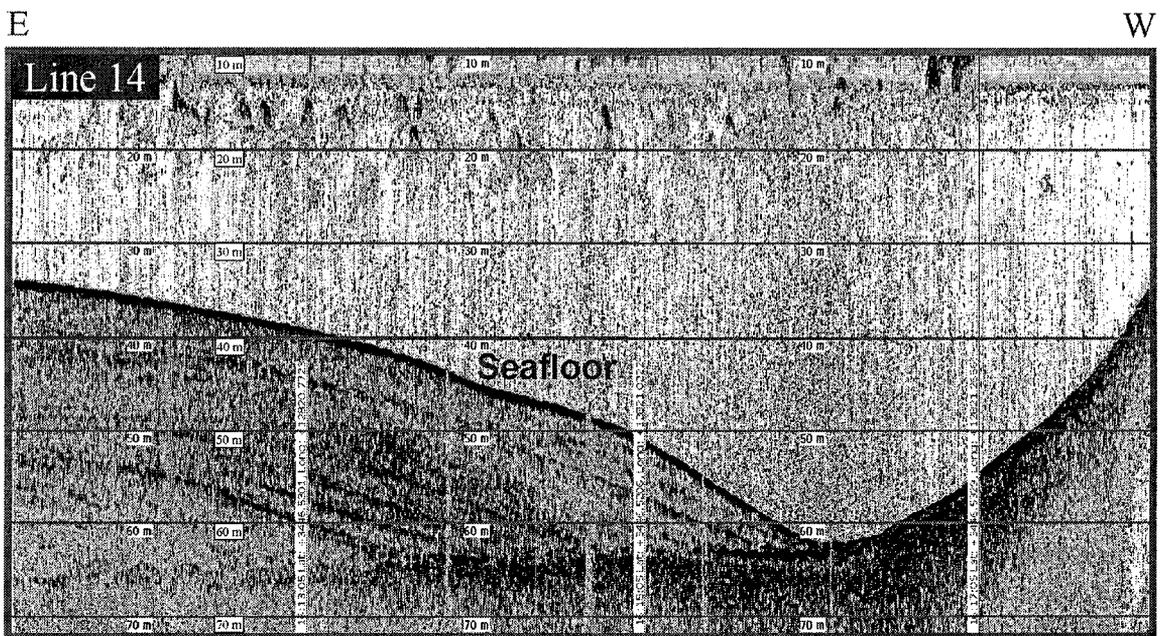
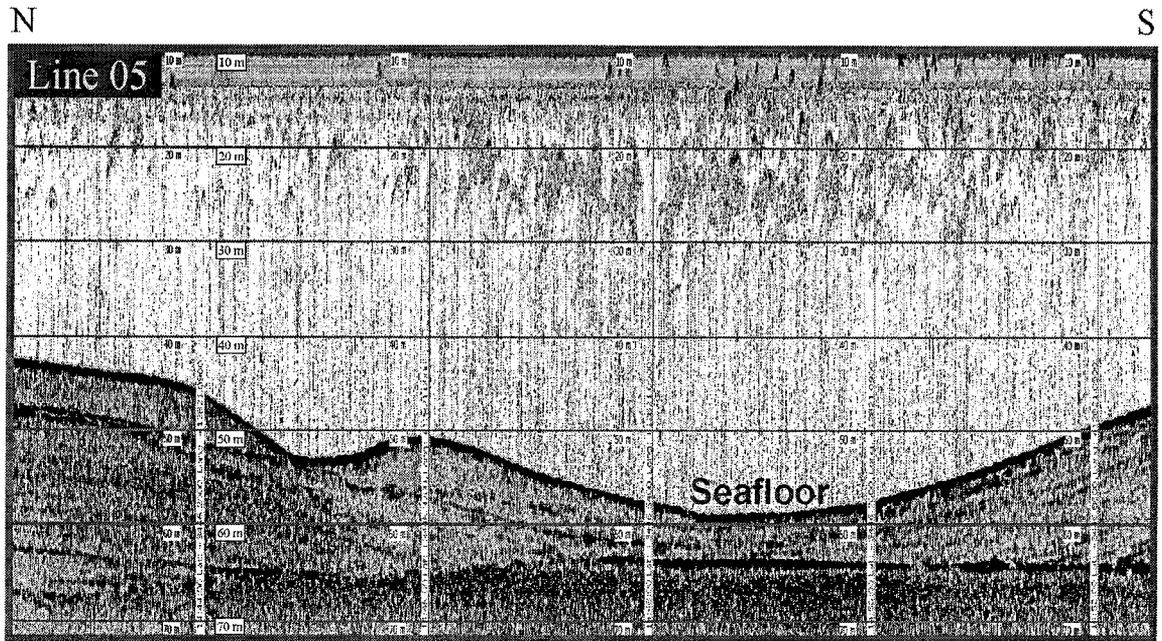


그림 6. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도(김 등, 2004).

표 1. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 저질입도 및 전단강도(김 등, 2004)

Station No.	Core Depth (cm)	평균입도 (Φ)	분급도 (Φ)	Gravel	Sand	Silt	Clay	퇴적물 유형	Shear Strength (kPa)
CORE 05	10	8.16	1.78	0.00	0.80	42.58	56.62	M	1.28
	20	8.38	1.88	0.00	1.62	33.79	64.59	M	1.28
	30	8.29	1.91	0.00	1.00	37.23	61.77	M	1.90
	40	8.52	1.70	0.00	0.21	32.79	67.00	C	2.82
	50	8.25	1.85	0.00	0.39	38.83	60.79	M	1.49
	60	8.29	1.75	0.00	0.60	39.30	60.10	M	2.59
	70	8.33	1.77	0.00	2.16	36.16	61.68	M	3.92
	80	8.31	1.80	0.00	1.56	36.84	61.60	M	3.48
	90	8.31	1.76	0.00	0.70	39.02	60.28	M	1.28
	100	8.34	1.83	0.00	0.55	38.71	60.74	M	3.48
CORE 06	10	9.49	1.71	0.00	0.07	16.56	83.37	C	1.28
	20	8.70	1.79	0.00	0.07	32.94	66.99	C	1.28
	30	8.93	1.69	0.00	0.21	25.27	74.52	C	1.28
	40	8.87	1.79	0.00	0.05	26.40	73.55	C	1.28
	50	8.81	1.67	0.00	0.25	28.29	71.46	C	1.49
	60	8.72	1.67	0.00	0.04	29.89	70.07	C	1.71
	70	8.98	1.61	0.00	0.14	24.50	75.36	C	3.04
	80	8.99	1.76	0.00	0.98	24.78	74.24	C	2.82
	90	8.47	1.93	0.00	0.21	34.74	65.05	M	4.14
	100	8.40	1.84	0.00	1.55	35.02	63.43	M	4.14
	110	8.88	1.75	0.00	0.64	25.99	73.37	C	4.80
	120	9.27	1.65	0.00	1.11	18.92	79.98	C	4.36
	130	9.18	1.59	0.00	2.32	7.58	90.10	C	5.47
CORE 07	10	8.52	1.91	0.00	2.56	28.08	69.36	C	1.28
	20	8.33	2.05	0.00	2.29	35.07	62.64	M	1.28
	30	8.11	2.18	0.00	9.54	43.43	47.03	M	2.37
	40	8.22	1.93	0.00	1.74	36.63	61.62	M	2.82
	50	8.27	2.27	0.00	8.11	28.32	63.57	C	3.92
	60	6.81	3.46	1.66	28.80	18.25	51.29	(g)sM	2.37
	70	6.33	3.67	5.37	23.59	36.99	34.06	(g)sM	-
CORE 08	10	8.08	1.82	0.00	0.71	43.03	56.26	M	1.49
	20	8.28	1.90	0.00	1.35	36.45	62.20	M	1.49
	30	8.05	2.08	0.00	1.44	41.46	57.10	M	1.49
	40	8.09	2.17	0.00	4.05	36.96	58.98	M	1.49
	50	8.06	1.81	0.00	0.36	44.36	55.29	M	1.90
	60	8.25	1.78	0.00	0.92	38.99	60.09	M	1.28
	70	7.70	2.58	0.00	9.93	32.69	57.38	M	3.04
	80	8.46	1.69	0.00	0.65	34.80	64.55	M	3.04
	90	8.25	1.91	0.00	0.50	38.64	60.85	M	2.59
	100	8.25	1.95	0.00	1.05	38.45	60.50	M	3.26
	110	8.21	1.99	0.00	1.46	38.81	59.73	M	2.37

3. 통영바다목장 조성에 적합한 어초 설계

지금까지 많은 종류의 인공어초가 개발되었고, 또한 현재 개발 중에 있으나, 현재까지 개발된 인공어초는 높이가 10 m 이내로 회유성 어류를 대상으로 할 경우 어초의 높이가 3 m 이내의 어초는 3~5단으로 중첩해서 시설하거나 혹은 어초 높이가 3 m이상의 어초는 1개씩 시설해오고 있다. 그러나 어초의 높이가 낮아 수온약층이 형성된 시기나 표층을 유영하는 어류의 위집 등 체류에는 거의 효과가 얻는 것으로 나타났다. 특히, 3 m 이하의 어초의 경우 3~5단 높이로 중첩하여 시설함으로 인해 어초의 내부는 조류가 차단되고 부착생물의 서식이 어렵게 되어 어초의 시설효과를 떨어뜨리는 것이 문제점으로 지적되어 왔다.

본 연구에서 개발한 다기능고층어초는 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위해서 고안된 것으로서, 어초의 높이를 30 m로 하고 형상을 피라밋 모양으로 하여 정착성 및 회유성 어류가 동시에 서식 및 체류하는데 적합하도록 다기능으로 설계한 인공어초로 어초시설사업의 가치 창출에 크게 기여할 수 있는 어초라 할 수 있다.

다기능성고층어초는 기존에 높이가 낮은 어초 만을 시설하는 과정에서 야기되는 어초의 중첩으로 인한 생물공간 감소, 여러 개를 한곳에 시설함으로써 야기되는 시공 상의 시간 낭비 등을 해결하고, 1개의 구조물로서 정착성 및 회유성 어류를 위집시킬 수 있는 인공어초이다.

가. 다기능 고층어초의 구조형태

본 연구에서 개발한 다기능고층어초는 그 높이가 개략 30 m 정도로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 강재나 철재 등을 사용하여 어초를 피라밋 형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임과 중층프레임 및 하층프레임으로 3원화시킴으로서, 하층프레임에는 조피볼락이나 쥐노래미 또는 쏨뱅이나 넙치 등과 같은 주축성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔이나 돌돔 또는 감성돔과 농어 등과 같은 보목적성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다. 또한 상층프레임에는 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류를 위한 최적의 체류공간을 제공할 수 있도록 설계하였다(그림 7).

그림 7에서와 같이 다기능성 고층어초는 강재(鋼材)의 가로프레임(2)과 세로프레임(3) 및 수직프레임(4)을 격자 형태로 교차시킴과 동시에, 각각의 프레임(2, 3, 4)을 수직 및 수평보강살(5, 6)로 연결하여 그 전체적인 형상이 피라밋 모양으로 이루어지는 프레임 구조물로서의 인공어초(1)를 나타내고 있다. 여러 층으로 구성된 층상공간은 정착성 어류의 서식 및 회유성 어류의 체류에 적합하도록 설계되어 있고, 프레임 구조 및 차단판(31, 41, 54)에 의한 면구조를 적절히 조합시켜 어류의 서식공간과 풍부한 음영을 갖도록 하였다.

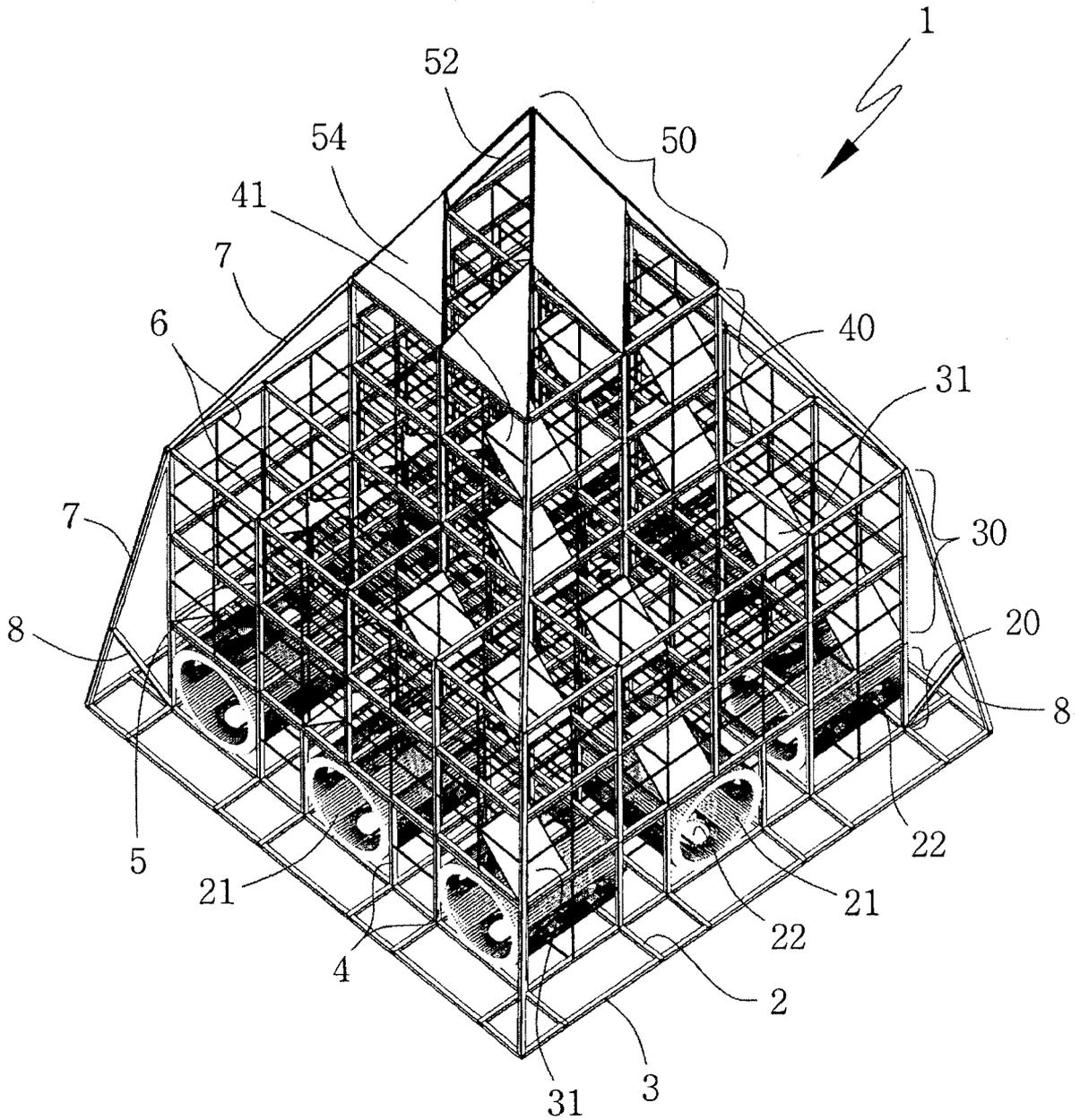


그림 7. 다기능고층어초의 형상 및 각 부분의 명칭.

또한, 하층프레임(20)의 가장자리 측에는 이동구멍(22)이 형성된 통로관(21)을 삽입 설치하여 주축성 어류의 서식에 적합하도록 하였다. 그리고 제 1 및 제 2 중층프레임(30, 40)에는 각 층마다 차단판(31, 41)과 사재(斜材)를 적절히 조합시켜 음영과 와류발생을 풍부하게 하였다. 특히, 상층프레임(50)은 사각뿔의 형상을 가지도록 한 상태에서 지붕을 형성하는 부분에 차단판(54)을 교호(交互)로 설치하여 차광 및 와류의 발생을 극대화되도록 하였다.

다기능고층어초의 각부의 명칭은 다음과 같다.

1 : 인공어초	2 : 가로프레임	3 : 세로프레임
4 : 수직프레임	5 : 수직보강살	6 : 수평보강살
7 : 보강프레임	8 : 보조프레임	10 : 바닥프레임
20 : 하층프레임	21 : 통로관	22 : 이동구멍
30 : 제 1 중층프레임	31,41,54 : 차단판	40 : 제 2 중층프레임
50 : 상층프레임	51 : 중심프레임	52 : 경사보강대
53 : 보강살		

나. 다기능 고층어초의 특징

본 연구에서 개발한 다기능고층어초는 어초의 높이를 30 m 정도로 하여 고층의 피라밋 형상으로 인공어초를 제작함으로써, 정착성이나 보목적성 및 회유성 어류가 동시에 서식 및 체류하는데 적합한 공간을 제공할 수 있도록 하였다. 그리고, 어초의 구조를 상·중·하로 3원화하여 그 하층부는 조피볼락이나 쥐노래미 또는 쏨뱅이나 넙치 등과 같은 주축성 어류의 서식에 적합하게 하고, 그 중층부는 참돔이나 돌돔 또는 감성돔이나 농어 등과 같은 보목적성 어류의 서식에 적합하며, 그 상층부는 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류가 체류하기에 적합한 공간을 갖도록 하였다.

또한, 다기능고층어초는 정착성 어류의 서식 및 회유성 어류의 체류에 적합하도록 여러 층의 층상공간을 제공하되, 테구조와 면구조를 적절히 조합시켜 어류의 서식공간과 풍부한 음영을 갖도록 하였다. 하층부 저면에는 통로관을 설치하여 주축성 어류의 서식에 적합하도록 하고, 중층부는 각 층마다 차단판과 사재(斜材)를 적절히 조합시켜 음영과 와류발생을 풍부하게하며, 상층부는 사각뿔의 형상을 가지도록 한 상태에서 지붕을 형성하는 부분에 차단판을 교호(交互)로 설치하여 차광 및 와류의 발생을 극대화시킬 수 있도록 하였다. 특히, 그 바닥부측에는 전도방지용 바닥프레임이 돌출되도록 설치되어 있고, 이 바닥프레임의 외곽부가 보강프레임에 의하여 중층부 구조물의 모서리 부분과 견고하게 연결됨으로서, 30 m 높이의 인공어초가 풍랑이나 조류에 의하여 전도 및 파손되는 것을 보다 완벽하게 방지할 수 있도록 함과 동시에, 그물과 같은 어구가 인공어초의 상부 측에 걸리지 않고 해저 면까지 용이하게 침강될 수 있도록 하였다.

부재의 조합설치와 관련해서는 각종 강재나 철재를 가로와 세로 및 수직방향으로 연결하여 일정한 높이를 가지는 골조구조물로 가로프레임과 세로프레임과 수직프레임이 격자 형태로 교차되도록 연결 설치되고, 각각의 프레임 사이에는 수직보강살과 수평보강살이 일체로 연결 설치되어, 하층프레임과 제 1, 제 2 중층프레임으로 이루어지는 피라밋형상의 프레임 구조물로 형성된다. 또한, 하층프레임의 가장자리 내측에는 그 몸체 상에

다수 개의 이동구멍이 관통 형성된 통로관이 하층프레임의 가장자리를 따라 삽입 설치되고, 상기 제 1, 제 2 중층프레임에는 음영공간의 조성과 조류의 변화를 위한 다수 개의 차단판이 일정한 간격을 두고 각각의 프레임과 보강살이 형성하는 공간의 내부에 30 ~ 45°각도로 경사지게 삽입 설치되도록 하였다.

다기능고층어초는, 상기 제 2 중층프레임의 상부에는 그 중앙으로부터 중심프레임이 상부로 연장되고, 그 외곽부측으로부터는 경사보강대가 연장되어 중앙프레임의 상단부와 연결되는 상층프레임이 설치된다. 상기 상층프레임의 경사보강대와 제 2 중층프레임의 상부 외곽측 가로프레임과 세로프레임의 사이에는 보강살이 가로지게 연결 설치되어, 각각의 프레임과 경사보강대와 보강살이 형성하는 공간 사이에 차단판이 교호로 삽입 설치되는 것이 특징이다. 하층프레임의 바닥부 외주연에는 인공어초의 전도방지를 위한 바닥프레임이 일체로 돌출 형성되고, 상기 바닥프레임의 가장자리로부터 제 1, 제 2 중층프레임의 모서리부를 거쳐 보강프레임이 경사지게 연결 설치되는 것이 특징이다.

다. 다기능 고층어초의 각 부분의 명칭

다기능고층어초의 각 부분을 설명하면, 그림 7은 다기능성 고층어초를 나타내는 사시도이고, 그림 8는 고층어초의 하층프레임 구조를 나타내는 사시도이며, 그림 9, 10은 고층어초의 제 1, 2 중층프레임 구조를 나타내는 사시도이다. 그리고 그림 11은 고층어초의 제 3 중층프레임 구조를 나타내는 사시도이며, 그림 12는 고층어초의 상층프레임 구조를 나타내는 사시도이다.

먼저, 본 발명에 의한 다기능성 고층어초의 전체적인 구성은 그림 7에 도시되어 있는 바와 같이, "H"빔 재질의 가로프레임(2)과 세로프레임(3) 및 수직프레임(4)이 격자 형태로 교차되어 피라밋 형상의 층상 구조를 가지는 하층프레임(20)과 제 1, 2, 3 중층프레임(30, 40) 및 상기 제 3 중층프레임(40)의 상부에서 사각뿔 형태로 돌출되는 상층프레임(50)으로 이루어지게 된다.

다기능고층어초의 각 층을 이루게 되는 구조물 중 상기 하층프레임(20)은 그림 3-2-8에 도시되어 있는 바와 같이, 가로프레임(2)과 세로프레임(3)에 의하여 판상의 골조구조물이 상, 하로 형성되고 그 골조구조물이 가로프레임(2)과 세로프레임(3)의 교차점을 연결하는 각각의 수직프레임(4)에 의하여 일체로 연결 설치됨으로서 하나의 층상구조물을 이루고 있다.

또한, 상기 가로프레임(2)과 세로프레임(3) 및 수직프레임(4)의 사이에는 구조물의 강도를 보강함과 동시에, 그 내부공간의 면적을 축소시켜 복잡한 통로를 형성할 수 있도록 수직보강살(5)과 수평보강살(6)이 일체로 연결 설치되어 있으며, 각각의 프레임(2, 3, 4)과 보강살(5, 6)이 서로 다른 치수로 형성되어 어류의 위집을 위한 시각적인 효과를 극대화시킬 수 있도록 되어 있다.

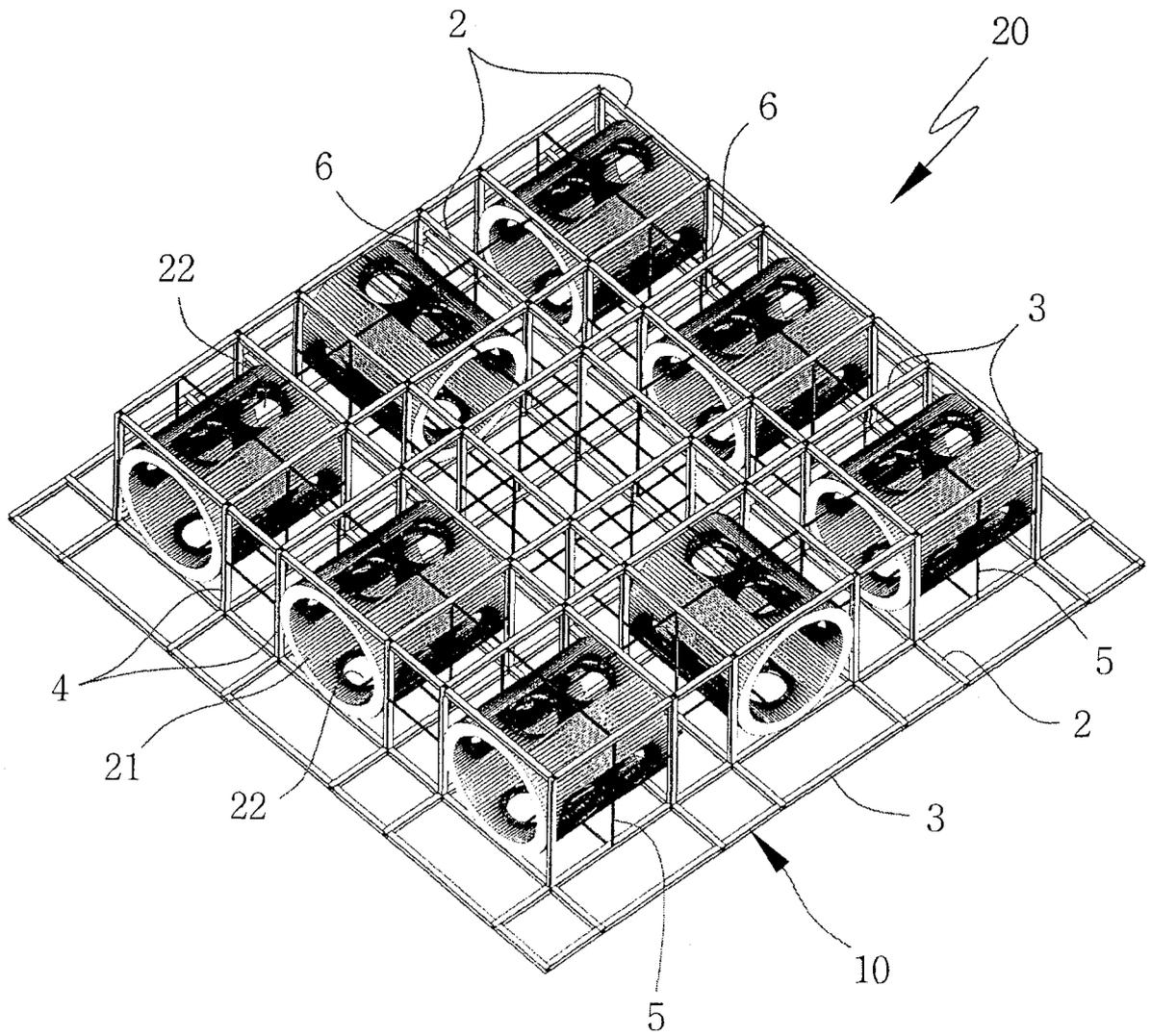


그림 8. 다기능고층어초의 하층프레임 구조.

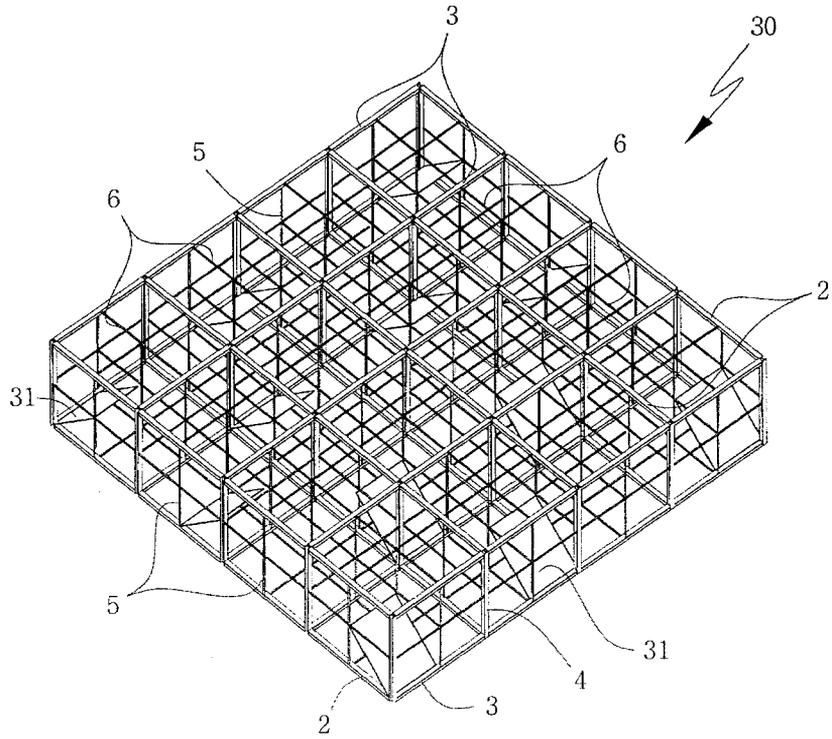


그림 9. 다기능고층어초의 제 1 중층프레임 구조.

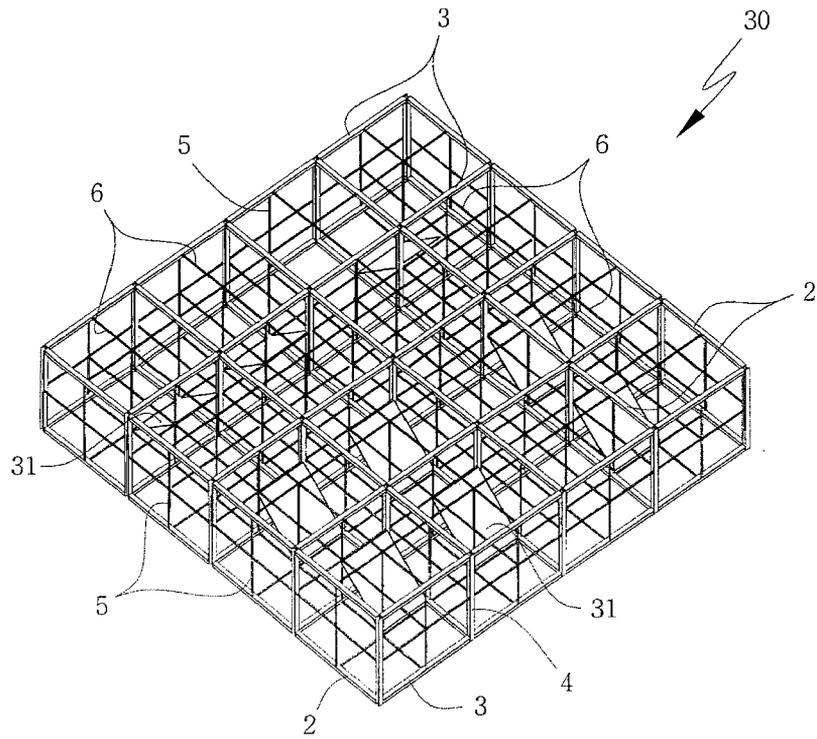


그림 10. 다기능고층어초의 제 2 중층프레임 구조.

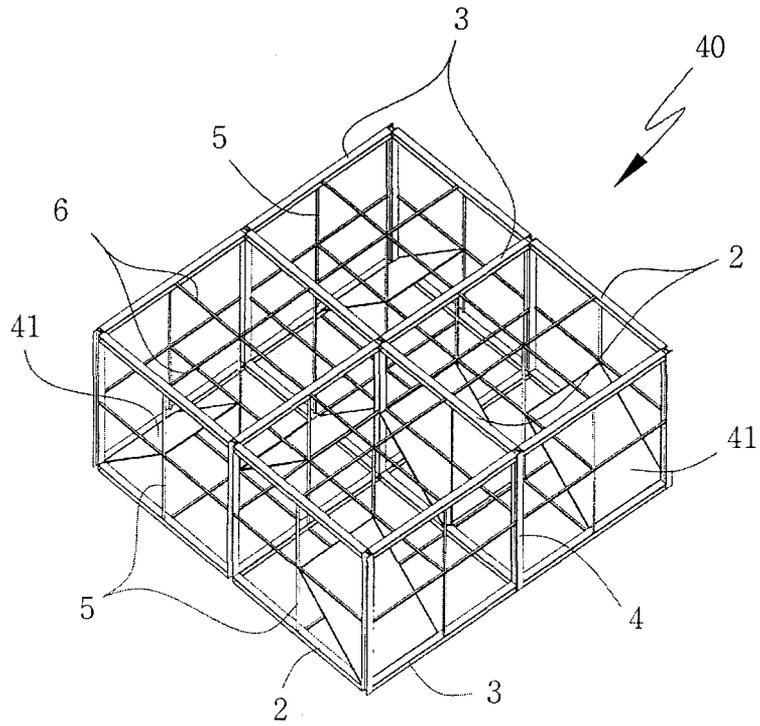


그림 11. 다기능고층어초의 제 3 중층프레임 구조.

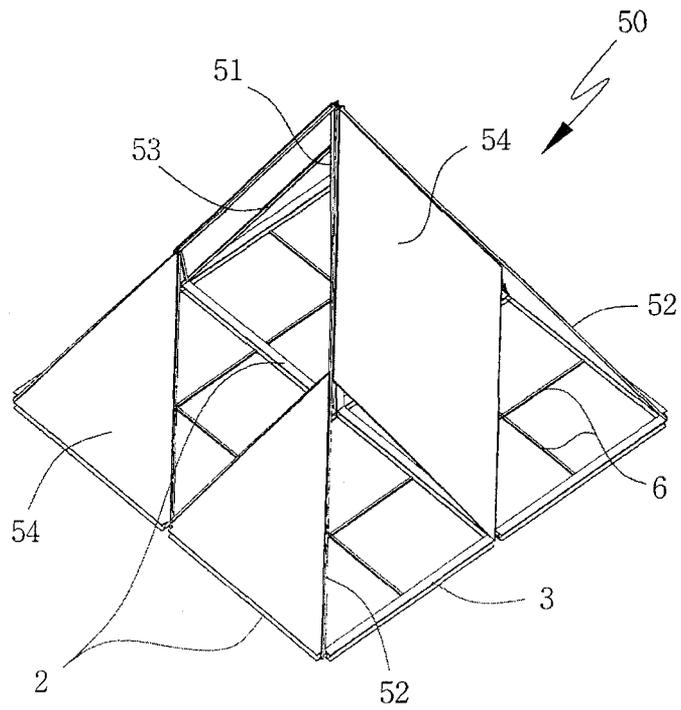


그림 12. 다기능고층어초의 상층프레임 구조.

또한, 상기 하층프레임(20)의 가장자리측에는 그 몸통에 다수 개의 이동구멍(22)이 관통 형성된 통로관(21)이 하층프레임(20)의 가장자리를 따라 방사상으로 삽입 설치됨으로써, 조피블락이나 쥐노래미 또는 쏘뽕이나 넙치 등과 같은 주축성 어류를 위한 최적의 서식공간을 제공할 수 있도록 이루어져 있다. 그리고, 그림 8, 9에 도시되어 있는 바와 같이, 상기 하층프레임(20)의 바닥부 외주 연에는 인공어초(1)의 전도방지를 위한 바닥프레임(10)이 일체로 돌출 형성된 상태에서, 상기 바닥프레임(10)의 가장자리로부터 제 1, 제 2 중층프레임(30, 40)의 모서리부를 거쳐 보강프레임(7)이 경사지게 연결 설치되어 있으며, 상기 각각의 보강프레임(7)과 바닥프레임(10)의 사이에는 보조프레임(8)이 가로지게 연결 설치되어 있다.

파랑이나 조류에 의한 인공어초(1)의 전도나 파손을 미연에 방지함과 동시에, 그물과 같은 각종 어구가 인공어초(1)에 걸리지 않고 해저 면으로 용이하게 침강될 수 있도록 하였다. 또한, 상기 바닥프레임(10)을 골조구조물 대신에 강판이나 철판 또는 철근 골조와 함께 타설된 콘크리트판과 같은 다른 형태의 구조물로 형성시킬 수도 있다. 그리고 그림 3-2-8, -9에서와 같이 제 1, 제 2 중층프레임(30, 40) 또한 하층프레임(20)의 상부구조물을 형성하는 가로프레임(2)과 세로프레임(3)의 교차점으로부터 수직프레임(4)이 연장되어 이 수직프레임(4)에 다시 가로프레임(2)과 세로프레임(3)이 연결되는 식으로 하여 각각 1개 내지 3개의 층상을 이루도록 형성되어 있으며, 각각의 프레임(2, 3, 4) 사이에는 구조물의 강도보강과 내부공간의 축소 및 어류의 위집에 따른 시각효과를 위하여 수직보강살(5)과 수평보강살(6)이 일체로 형성되어 있다. 또한, 상기 제 1, 제 2 중층프레임(30, 40)의 골조공간, 다시 말해서 각각의 프레임(2, 3, 4)과 보강살(5, 6)이 형성하는 공간에는 태양광선을 차단하여 인공어초(1)의 내부에 음영(陰影: 그림자)을 조성함과 동시에, 조류의 흐름에 변화를 주어 인공어초(1)의 내부에 와류(渦流) 혹은 후류(後流)를 발생시킬 수 있도록 하기 위한 차단판(31, 41)이 제 1, 제 2 중층프레임(30, 40)의 내부 골조를 따라 서로 엇갈리도록 일정한 간격을 두고 삽입 설치되어 있다. 그리고, 그림3-2-10에 도시되어 있는 바와 같이, 상기 제 2 중층프레임(40)의 상부에는 그 중앙에 형성된 가로프레임(2)과 세로프레임(3)의 교차점으로부터 중심프레임(51)이 상부로 연장되고, 그 외곽부를 이루는 가로 및 세로프레임(2, 3)으로부터는 경사보강대(52)가 중앙프레임(51)의 상단부로 연장되어 사각뿔 형상을 가지는 상층프레임(50)이 설치된다.

상기 상층프레임(50)의 경사보강대(52)와 제 2 중층프레임(40)의 상부 외곽 측 가로프레임(2)과 세로프레임(3)의 사이에는 보강살(53)이 가로지게 연결 설치된 상태에서, 각각의 프레임(2, 3)과 경사보강대(52)와 보강살(53)이 형성하는 골조공간의 사이에는 차단판(54)이 교호(交互)로 삽입 설치되어 있다. 상기 차단판(54) 또한, 제 1 및 제 2 중층프레임(30, 40)에 설치된 것과 마찬가지로 태양광선을 차단하여 해당 공간에 음영(陰影: 그림자)을 조성함과 동시에, 유체자극에 따른 조류의 흐름에 변화를 주어 해당 공간에 와류(渦

流) 혹은 후류(後流)를 발생시킴으로서, 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류의 위집 및 그 체류시간을 극대화시킬 수 있도록 되어 있다.

본 발명의 하나의 실시 예로 상기 하층프레임(20)을 사각 형상으로 형성시킴으로서 그 상부로 적층 설치되는 제 1 및 제 2 중층프레임(30, 40) 또한 사각 형상으로 이루어지도록 한 것을 도시하고 있으나, 본 발명에 따른 인공어초(1)의 전체적인 형상은 본 발명의 일실시예로 한정되는 것이 아니며, 삼각형이나 육각형 또는 다각형이나 원형 등과 같은 다양한 형상으로 제조될 수 있다. 또한, 본 발명의 일실시 예에서는 하층프레임(20)의 가장자리를 따라 삽입되는 상기 통로관(21)을 원통관의 형태로 나타내었으나, 이 또한 본 발명의 하나의 실시 예로 한정되는 것이 아니며, 삼각형이나 육각형 또는 다각형이나 원형 등과 같은 다양한 형상을 가질 수 있으며, 상기 통로관(20)의 내부공간을 협소하게 형성시켜 어류의 위집을 극대화시킬 수 있도록 그 내부에 “X” 형이나 “+” 형과 같은 별도의 부재(部材)를 추가적으로 설치할 수도 있다. 그림 3-2-9, -10에서와 같이 제 1 및 제 2 중층프레임(30, 40)과 상층프레임(50)에 설치되는 차광 및 조류 유도용 차단판(31, 41, 54)의 경우에도 목재나 금속 또는 콘크리트와 같은 다양한 재질의 판재가 될 수 있고, 그 몸체 상에 삼각형이나 육각형 또는 다각형이나 원형 구멍 등을 관통 형성시킬 수도 있다.

4. 설계된 대형어초의 적정배치형태 구명

가. 어초배치

어초의 시설규모가 동일하다 할지라도 수심, 어초의 시설높이, 어초單體 및 單位어초 간의 거리 등에 따라 어초어장의 생산성은 달라진다. 魚群은 활발한 日周期 행동을 하며 5~10 km 정도의 생활 행동권을 갖는 것이 많다. 이러한 日周期 행동은 행동권 내에 자연초와 같은 어장이 얼마나 존재하느냐에 따라 다르나, 어초에서의 이동 범위는 4,000~8,000 m² 크기의 단위어초의 경우 약 1 km로 알려져 있다(金, 1999). 어초에서의 魚群이 얼마나 머무르느냐는 流線의 유발 형태에 크게 의존한다. 그러나, 이와 같은 습성도 계절적으로 深淺이동을 하거나, 계절에 따라 분포중심의 위치가 변하기 때문에 漁期를 장기화 하기 위해서는 深淺방향으로 전개하여 배치하는 것이 바람직하다. 본 연구의 경우, 바다목장화 조성 예정지가 주위에 크고 작은 섬들로 둘러싸여 있기 때문에 深海쪽으로 배치하는 것이 어려워 深淺방향 대신, 동 조성 지역내의 수심의 차이를 이용하여 40 m 보다 깊은 곳에 어장이 조성될 수 있도록 하였다. 이것은 40 m보다 얕은 곳에 설치한 어초를 수심 50 m의 어초와 연계함으로써 월동기에 조피볼락 등이 50 m의 수심 대에 시설된 어초에서도 월동할 수 있도록 하기 위해서였다.

어초어장 조성에 있어서 어초의 시설 높이(부피의 개념)도 어류를 어초어장에서 되도록 오래동안 머무르게 하는데 영향을 준다. 그러나 이와 같은 영향은 어종에 따라 차이가 있으며, 회유성 어종인 삼치, 방어, 고등어 등과 같이 음파나 유체자극에 강하게 반응하는

어류들은 어초의 높이가 중요한 요소로 작용하지만, 조피볼락이나 참돔과 같이 접촉이나 시각자극에 강하게 반응하는 어류는 높이 보다는 수평적인 크기(면적 개념)가 중요한 요소로 작용한다(Kim et al., 1994).

單位어초간의 거리도 어류의 체류에 영향을 준다. 조피볼락이나 참돔은 대개 단위어초 간의 유효이동 거리가 400~600 m 정도로 방어나 삼치 등과 같은 회유성 어종에 비해 짧다. 그러나 어류의 단위어초간의 이동거리는 조류의 세기, 지형, 어초의 규모에 따라 다르기 때문에 일률적으로 정하기는 어렵고, 일반적으로 어초어장에서의 대상 어종의 이동거리뿐만 아니라, 목적으로 하는 어종을 효율적으로 조업할 수 있는 거리 등에 의해 결정한다. 본 연구에 있어서도 단위어초 간의 거리를 결정함에 있어서 이들 두 요소를 우선적으로 고려하였다. 즉, 400~600 m보다 긴 1 km 정도로 한 것은 실제 어초가 시설된 곳에서는 낚시, 그리고 실제 어초가 시설되지 않은 단위어초 간의 사이에는 연승이나, 유효어망을 사용할 수 있도록 하기 위해서였다.

나. 다기능고층어초의 배치

다기능고층어초는 높이가 30 m정도의 어초로 1개의 어초로 주축성 어류, 보목적성 어류, 회유성 어류 등 어초에서 각기 다르게 반응하는 어류들을 동시에 위집시키기 위해 고안된 것이다. 어초 배치와 관련해서는 다기능고층어초만을 시설할 수 있으며, 또한 다기능고층어초 주위에 높이가 5 m이하의 어초를 시설하여 저면으로부터 수직분포가 크지 않은 주축성 어류의 위집을 극대화하는 것도 고려할 수 있다. 다기능고층어초만을 시설할 경우 주위의 천연초와의 조화를 이루도록 하는 것이 바람직하다. 천연초가 어장의 형성요인으로서 열거되고 있는 특징으로서는 지형의 변화를 들 수 있으며, 다면지형으로 볼 경우, 해저선의 융기이며, 평면지형으로는 융기부의 형상이다. 지형의 변화는 해역의 모든 환경 즉 특히 수괴의 환경을 연속적 혹은 불연속적으로 변화시켜 2차적으로 생물 서식환경의 특별한 장소로서 만들어 주는 역할을 한다.

수리환경의 변동은 장소나 형상등과 같은 지역특성이나 규모에 따라 지배된다. 수괴의 변화는 직접적이거나 간접적인 것을 불구하고 수산생물의 자극으로서 인식되며, 그의 반응행동은 연쇄적으로 볼 수 있다. 따라서 다기능고층어초 등 인공어초의 설치 목적은 지형의 변화를 추구한다고 할 수 있다. 그러나 인공어초 단독 시설에 의해 천연초처럼 어업 생산성을 기대하기는 어렵기 때문에 시설량의 규모가 작을 경우에는 천연초와 보완 관계를 유지할 수 있도록 해야 하며, 시설량이 클 경우는 일정한 거리를 유지하여 시설하는 것이 효과를 증대하는 측면에서 바람직하다고 판단된다(日本水産資源保護協會, 1976).

IV. 결 론

1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초 설계요인 구명

통영바다 목장 조성지 내에 출현하는 어종은 자치어의 경우 76종이었고, 성어는 모두 89종 이었다. 이들 자치어 및 성어에 대해 어초성을 분류하면, 자치어의 경우 접촉자극이 강한 I형 어류는 조피볼락, 볼락 등 19종이었고, 시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류는 참돔, 감성돔 등 9종이었다. 한편 성어의 경우 I형은 조피볼락, 볼락 등 19종, II형은 참돔, 농어 등 21종, III형은 방어, 고등어 등 8종이었다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 구조형태 구명

어류의 어초성과 어초의 구조의 경우 I형 어종을 대상으로 하는 어초구조는 어체의 크기에 알맞은 공간을 가져야 하고, II형에 속하는 어류는 어초를 시계(視界) 내에 두고 어초 주위를 유영하기 때문에 어초 부재를 어류의 시계 내에 들어오게 하기 위해서는 어초의 간격을 2 m이하로 하는 것이 바람직하다. 또한 어초의 부착생물의 소리, 渦流, 亂流 등의 수압변동을 聽覺으로 감지하는 어류의 경우에는 어초부재로부터 亂流가 발생하고, 後流중에 剝離할 조건으로서 B를 部材폭, U를 유속으로 하여 $BU > 100 \text{ cm} \cdot \text{sec}$ 를 만족해야 한다.

어초의 공극율은 대상 어종에 따라 다르며, I형 어류의 경우 70%이하, II형 어류의 경우 70~80%, 그리고 III형 어류는 95%이상으로 설계되고 있다.

3. 통영바다에 적합한 어초 설계

본 연구에서 개발한 다기능고층어초는 그 높이가 개략 30 m 정도로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 강재 등을 사용하여 어초를 피라미트 형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임과 중층프레임 및 하층프레임으로 3원화시킴으로서, 하층프레임에는 조피볼락이나 쥐노래미 또는 쏨뱅이나 넙치 등과 같은 주축성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔이나 돌돔 또는 감성돔과 농어 등과 같은 보목적성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다. 또한 상층프레임에는 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류를 위한 최적의 체류공간을 제공할 수 있도록 설계하였다.

4. 설계된 대형어초의 적정배치형태 구명

어초 배치와 관련해서는 다기능고층어초만을 시설할 수 있으며, 또한 다기능고층어초 주위에 높이가 5 m 이하의 어초를 시설하여 저면으로부터 수직분포가 크지 않은 주축성 어류의 위집을 극대화하는 것도 고려할 수 있다. 그러나 다기능고층어초 1개 만을 시설 할 경우 천연 초와 보완 관계를 유지할 수 있도록 해야 하며, 시설량이 클 경우는 일정한 거리를 유지하여 시설하는 것이 효과를 증대하는 측면에서 바람직하다고 판단된다.

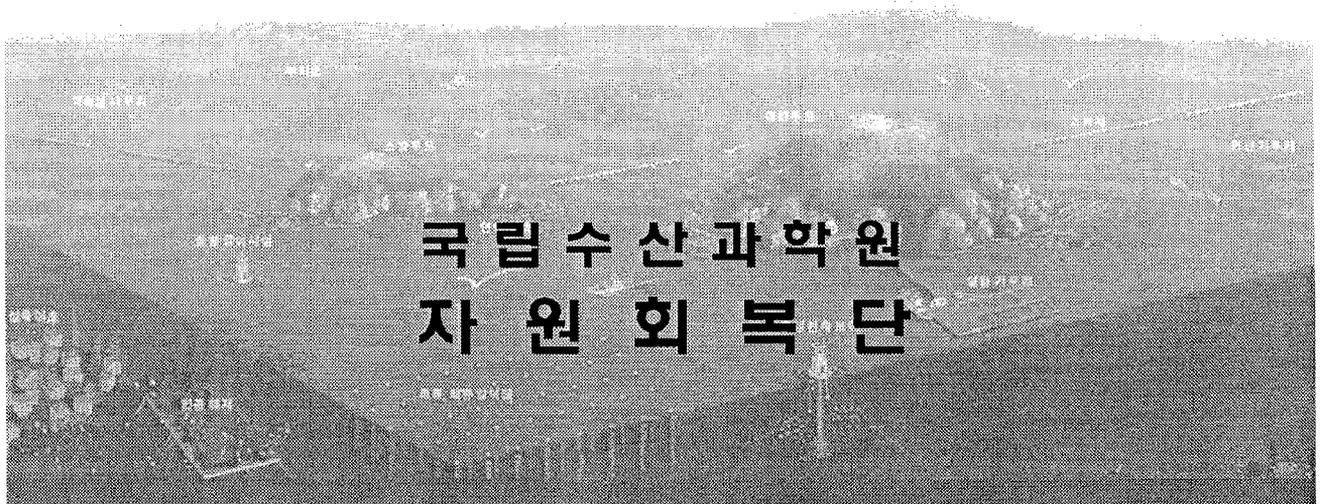
참 고 문 헌

- Kim, C. G., J. W. Lee, and J. S. Park. 1994. Artificial reef designs for Korean coastal waters. *Bull. of Marine Science*, 55(2-3), 858-866.
- 김 창길, 정의철, 김호상, 1999. 통영해역 바다목장화 연구 개발 용역 사업 보고, 국립수산진흥원, 58 p.
- 金 昌吉, 1996. 海洋構造物におけるアルカリシリカ反應に関する基礎的研究, 20-21.
- 김 창길, 김 호상, 백 철인, 정 도훈, 2004. 통영해역 바다목장화 연구 개발 용역 사업 보고, 국립수산과학원, 112 p.
- 木曾克裕, 1980. 平戸島志志灣におけるマダイ当歳 魚個体群の攝餌生態-I, 成長に伴う餌料の變化とその年變動. *西水研研報* (54) : 291-306
- 木曾克裕, 1985. 平戸島志志灣におけるマダイ未成魚の分布様式と攝餌生態. *西水研研報* (62) : 1-17.
- 北島 力, 1978. 마다이의採卵と稚魚の量産に関する研究. *長崎水試論文集* (5) : 1-92
- 柿元 皓, 津村 憲, 野田 幹雄. 1998. 人工魚礁による漁場・増殖場造成. *水産工學*. Vol. 34(3). 305-311.
- 大内康敬, 1986. 幼魚の生態とその漁業. 마다이의資源培養技術(田中 克・松官義晴編). 恒星社厚生閣 東京 : 75-90
- 落合 明, 田中 克, 1986. 마다이. 魚類學下. 恒星社厚生閣 東京 : 736-750
- 鈴木重善, 桑原昭彦, 1983. 若狹灣西部海域におけるマダイ仔魚の鉛直分布と食性. *水産海洋研究報* (42) : 10-16
- 立石 賢, 森 勇, 1982. 鯨曾根における마다이의産卵について. *水産増殖* 30(2) : 119-125.
- 田中 克, 1979. 마다이稚魚の底生生活への移動過程. *水産土木* 16 (1) : 47-57.
- 田中 克, 1986. 稚仔魚の生態, 마다이의資源培養技術(田中 克・松官義晴編). 恒星社厚生閣 東京 : 59-74
- 全國沿岸漁業振興開發協會, 1986. 沿岸漁場整備開發事業 人工魚礁漁場造成計劃指針, 5-47.
- 新瀉縣水産試驗場, 1984. 新瀉縣沿岸域における人工魚礁總合的研究と事業, 66-224.
- 中村 充, 上北 征男, 飯野 達夫, 1975. 海中落體の着底衝擊に関する研究, 第22回海岸工學論文集.
- 日本水産資源保護協會, 1976. 人工魚礁 理論 實際 I, 35-45.

통영해역 바다 목장화 연구 개발 용역사업 보고서
- 인공어초 조사

Study on the Development of Marine
Ranching Program in Tongyeong, Korea
- Survey of artificial reefs

2006. 4



제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 『2005 통영해역의 바다 목장 연구개발 용역 사업 보고서』 중 “어초조사”의 보고서로서 제출합니다.

2006. 4

주관 연구기관 : 한국해양연구소

총괄 연구 책임자 : 김종만

협동연구기관 : 국립수산과학원

세부과제 책임자 : 김창길 (어초조사 연구)

연구원

국립수산과학원 : 김창길, 김호상, 서장우, 김두봉, 오명환, 최혜련

한국해양연구원 : 김종만, 명정구, 박용주

요 약 문

본 연구에서는 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초(다기능고층어초)의 적지분석, 동 어초의 제작공법, 시설된 대형어초의 효과에 대해서 수행하였다. 통영바다목장지역 내에 대형어초를 시설할 지역(Site B)의 최강유속은 0.8 kn이며, 저질은 니질로 구성되어 있다. 동 지역의 탄성파의 두께는 10~30 m이며, 바다 저면에서 80 cm 까지의 깊이까지의 전단강도 값은 1.28~5.47 kpa이다. 이들 조건은 어초의 자중이 약 58 톤으로 비교적 무거운 것이나, 단위면적 당 하중이 크지 않아 침하의 우려는 상대적으로 적을 것으로 판단된다. 동 어초의 적정시공방법으로는 본체부를 각 3등분하여 저층, 중층, 상층부로 나누워 부분 제작 후 크레인으로 거치하여 본체를 용접하는 방법이다. 시공법과 관련해서는 제작장에서 바지선까지의 이동은 크레인으로 하고, 시설지에서의 어초거치는 충격하중에 의한 원형흡관 등이 본체로부터의 이탈되지 않도록 시설하는 방법과 어초의 저면에 어초의 자중에 견딜 수 있는 부력재를 부착하고, 크레인을 이용하여 바다에 띄운 후 예인선을 이용하여 시설지까지 운반하여 시설하는 방법도 고려해 볼 필요가 있다.

Summary

This study carried out three subsubjects; site selection, manufacturing and installing method development, and effectiveness survey of multifunctional high-storied reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. The maximum current of the expected installation area (Site B) is 0.8 knot. The sediment of Site B where a multifunctional high-storied reef (15×15×15 m) will be installed is composed of mud, and the thickness of identical acoustic profile is as deep as about 10 to 30 m. But the shear strengths of the sediment in the depth of 80 cm from seafloor ranged from 1.28 to 5.47 kPa. Although the reef weight is as heavy as 58 tonnage, as the weight per an area is as low as 0.27 kg/cm², the settlement caused by its own wight will not be deep. The multifunctional high-storied reef is 15 m in high and composes of three parts. The lower portion, which extends 5 m upward from the bottom, was designed for rockfish and caters to their preference for face structures, and the 5 to 10 m portion is was made for porgy, which prefer a frame structure. The section of 10 to 15 m was designed for yellow trail and spanish mackerel, and compose of tetrahedron which each face is attached with a steel plate to disrupt the current. The reef is separately manufactured made in three parts; the bottom, the middle and the upper part. And then finished parts are assembled into a reef. The movement of a reef from manufacturing place to a barge is made by large crane, and installation is safely done by suspension method. Also the other method is to tow a reef with buoyage attached to the bottom to the installation area by a tug.

Contents

Section 2. Survey of artificial reefs

1. Introduction

2. Material and method

A. Site selection for installation of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching area

- (1) Analysis of current, sediment and fish species in the expected installation area
- (2) Analysis of technique for the settlement control after installation

B. Manufacturing technique of the multifunctional high-storied reef which will be installed in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching area

- (1) Analysis of construction degree to welding methods of a steel reef
- (2) Analysis of construction method of hybrid reef made of concrete and steel
- (3) Analysis of installation method after the manufacture of the multifunctional high-storied reef

C. Effectiveness survey of the multifunctional high-storied reef

- (1) Analysis of vertical distribution of fish species attracted around the multifunctional high-storied reef
- (2) Analysis of fish species attracted in the multifunctional high-storied reef
- (3) Analysis of stability after installation

3. Results and discussion

A. Site selection for installation of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching area

- (1) Analysis of current, sediment and fish species in the expected installation area
- (2) Analysis of technique for the settlement control after installation

B. Manufacturing technique of the multifunctional high-storied reef which will be installed in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching area

- (1) Analysis of construction degree to welding methods of a steel reef
- (2) Analysis of construction method of hybrid reef made of concrete and steel
- (3) Analysis of installation method after the manufacture of the multifunctional high-storied reef

C. Effectiveness survey of the multifunctional high-storied reef

- (1) Analysis of vertical distribution of fish species attracted around the multifunctional high-storied reef
- (2) Analysis of fish species attracted in the multifunctional high-storied reef

(3) Analysis of stability after installation

4. Conclusions

- A. Site selection for installation of artificial reef in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching area
- B. Manufacturing technique of the multifunctional high-storied reef which will be installed in a depth of more than 40 m at Tongyeong marine ranching area
 - (1) Analysis of construction degree to welding methods of a steel reef
 - (2) Analysis of construction method of hybrid reef made of concrete and steel
 - (3) Analysis of installation method after the manufacture of the multifunctional high-storied reef
- C. Effectiveness survey of the multifunctional high-storied reef

<표 차례>

표 1. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 저질입도 및 전단강도(김 등, 2004) 8
표 2. 용접 외관 검사 기준 14
표 3. 강제어초의 부식허용량 15

<Table List>

Table 1. Grain compositions and its shear strength of vertical sediment collected at site B in the west of Konri-do in the province of Kyongnam, Korea (Kim et al., 2004) 8
Table 2. Criterion of external inspection to welding 14
Table 3. Corrosion tolerance limit of steel reef 15

<그림 차례>

그림 1. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사지역(Site B). 3
그림 2. 바다목장 조성지 내의 B지역(곤리도 외측)에서 코어시료 채취위치. 4
그림 3. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도(김 등, 2004). 7
그림 4. 통영해역에서 1997년 2월에서 12월까지 채집된 자치어의 어초성 분류. 9
그림 5. 통영 어시장에서 1997년 2월에서 8월까지 조사된 성어의 어초성 분류. 10
그림 6. 다기능고층어초의 형상. 11

<Figure list>

Fig. 1. Locations of acoustic profile survey (Site B) for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. 3
Fig. 2. Locations of collecting coar samples for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. Site B indicates survey area. 4
Fig. 3. Acoustic profile of site B situated in the west of Konri-do in the province of Kyongnam, Korea (Kim et al., 2004). 7
Fig. 4. Diagram of response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyong coastal area from February to December in 1997. 9
Fig. 5. Diagram response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyong fish market from February to August in 1997. 10
Fig. 6. Structural shape of a high-storied-multifunctional reef. 11

목 차

요 약 문	i
Summary	ii
Contents	iii
표 차례	v
그림 차례	v
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	2
1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석	2
가. 시설 예정지의 유속, 저질 서식어종 분석	2
나. 시설 후 침하방지 공법 분석	2
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법	2
가. 강재의 용접방법별 시공도 분석	2
나. 콘크리트와 강재의 복합체 시공방법분석	4
다. 대형어초의 제작 후 시설방법 분석	5
3. 시설된 대형어초의 효과조사	5
가. 대형어초에 모여든 어류의 수직분포형상 분석	5
나. 대형어초의 내부에 모여든 어류의 위치	5
다. 대형어초의 시설 후 안정성 분석	5
III. 결과 및 토의	6
1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석	6
가. 시설 예정지의 유속, 저질 서식어종 분석	6
나. 시설 후 매몰방지 공법 분석	10
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법	13
가. 강재의 용접방법별 시공도 분석	13
나. 콘크리트와 강재의 복합체 시공방법분석	15
다. 대형어초의 제작 후 시설방법 분석	16
3. 시설된 대형어초의 효과조사	16
IV. 요약 및 결론	17
1. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석	17
가. 시설 후 매몰방지 공법 분석	17

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법	17
가. 강재의 용접방법별 시공도 분석	17
나. 콘크리트와 강재의 복합체 시공방법분석	17
다. 대형어초의 제작 후 시설방법 분석	18
3. 시설된 대형어초의 효과조사	18

참 고 문 헌

I. 서론

21세기에 들어 산업기술의 비약적인 발달로 인해 우리의 삶의 질은 훨씬 풍요로워졌으나, 한편으로는 많은 문제를 안고 있는 것도 사실이다. 우리가 안고 있는 중요한 문제점으로는 지구온난화, 식량문제 등을 들 수 있다. 국제연합식량농업기관(FAO) 등의 추정에 의하면 21세기 중엽에는 현재 인구의 2배인 약 100억명에 달할 것으로 추측된다. 이로 인해 현재 1인당 식량소비량을 기준으로 환산해 볼 때, 세계가 필요로 하는 식량은 현재의 2배로 달할 것으로 추정된다. 그러나 농업생산을 기본으로 한 육상에서의 식량생산은 황폐화한 사막의 비옥화, 아시아, 아프리카, 남아메리카, 오스트라리아 등 대륙의 미개발지에 대한 개발을 통하여 어느 정도의 증산이 기대되지만, 충분한 공급은 어려운 실정이다.

이와 같은 문제점들에 대한 해결은 앞서 언급한 바와 같이 대륙에서는 어려우며, 해양에서 해결할 수 밖에 없을 것이다. 일례로 광합성을 하여 이산화탄소를 고정하므로서 유기물을 만드는 생산력은 열대우림(熱帶雨林) 보다 바다에 서식하는 해조류(다시마)가 더 큰 것으로 알려져 있다. 1년간 1 m²당 2,000g의 탄소를 고정하는 열대우림이나, 1,200g의 온대낙엽수에 비해 양식 다시마는 4,800g의 탄소를 고정한다고 알려져 있다. 또한, 1986년 쏘아올린 인공위성 닌버스 7호로 연안역 수색센서에 의한 크로로필을 7년간 조사하여 분석한 결과에 의하면, 해양의 1차생산은 약 3,700~4,700 억톤/년(탄소)으로 추정되며, 육지에 비해서도 4~5배 정도의 크기이다. 따라서 우리가 처해있는 어려운 상황을 해결하기 위해서는 자원의 보고(寶庫)인 바다를 어떻게 잘 이용하고 관리해야 할 것인가에 지혜를 모아야 할 것이다. 이와 관련하여 여러 가지 대안이 있을 수 있겠지만, 무엇보다도 중요한 것은 생산력이 높은 연안역의 체계적 개발 및 관리라 할 수 있다.

연안 역은 각종 수산자원의 산란장, 보육장, 서식장으로서 역할을 하며, 어업자에게는 삶의 터전이요, 레저 이용자에게는 여가의 장으로서 제공된다. 따라서 연안 역을 어떻게 개발하느냐에 따라 삶의 질이 달라질 수 있다. 바다는 육지와 달리 자원의 이동이 심하기 때문에 관리하고 가꾸는 개념이 희박하다. 그러나 최근 들어 연안 역을 육지의 논과 밭처럼 가꾸려는 기술이 개발되고 있으며, 그 중 하나가 바다목장조성사업이다. 동 사업은 재배어업이 농작물의 재배를 이미지화 하여 수산자원을 인위적으로 육성하고 이것을 어획하는데 대하여, 목축업을 이미지화하여 자연환경 속에 방생한 후 필요할 때 어획을 하는 것을 말한다. 바다목장 사업은 양식과 같이 좁은 울타리 속에서 기르는 것이 아니고, 넓은 수역에 어린 물고기를 물속에 놓아 준 후 필요할 때 어획하는 것을 말한다. 즉, 대상생물의 서식환경에 적합한 인공어초어장을 조성하고(Kim et al., 1994), 그곳에 어린 물고기를 물속에 놓아 죽지 않고 성장함으로써 지속적으로 어획 생산성이 유지 및 증강되는 것을 의미한다. 외국에서는 15년 전부터 실시해오고 있으며, 우리나라에서도 1998년에 통

영바다목장사업을 시작으로 현재 동, 서, 남해 및 제주지역에 1개소씩 선정하여 추진 중에 있다.

통영해역바다목장 개발 연구는 1998년부터 2006년까지 8년 계획으로 수행되고 있으며, 1998년부터 2000년까지는 바다 목장조성에 필요한 기반조사를 실시하였다(김 등, 1999). 그리고 2001년부터 2004년까지는 조사된 자료를 토대로 바다 목장조성에 필요한 관련 기술을 적용하였다(김 등, 2004). 한편 2005년부터 2006년까지는 통영바다목장의 주 대상 종인 조피볼락의 성장함에 따라 그리고 겨울철 저수온기에 바다목장 내의 수심 40 m의 비교적 깊은 곳으로 이동하여 서식한다고 판단되어 대형어초를 제작, 시설한 후 그 효과를 구명예정에 있다. 2005년도에는 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석, 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법 분석 및 시설된 대형어초의 효과분석 등 3개 항목을 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석

가. 시설 예정지의 유속, 저질, 서식어종 분석

통영바다 조성지 내의 대형어초의 시설지에 대해 기존자료를 이용하여 유속 및 유향을 분석하였다. 그리고 저질은 대형어초가 시설될 곤리도 외측 $34^{\circ}47.900'$, $128^{\circ}20.550'$, $34^{\circ}47.900'$, $128^{\circ}21.667'$, $34^{\circ}46.000'$, $128^{\circ}20.550'$, $34^{\circ}46.000'$, $128^{\circ}21.667'$ 의 면적에 대해 조사된 탄성과 자료와 입도분석 자료(김 등, 2004)를 이용하여 분석하였다(그림 1, 2). 또한, 통영바다목장 내의 서식하고 있는 어종 분석은 현재까지 통영바다목장 연구 수행과정에서 조사된 자료를 토대로 분석하였으며, 이것은 대형어초의 시설 후 대형어초에 모여든 어종과의 비교분석을 위해서 였다.

나. 시설 후 침하방지 공법 분석

대형어초의 시설 후 매몰방지 공법 분석은 곤리도 외측 $34^{\circ}47.900'$, $128^{\circ}20.550'$, $34^{\circ}47.900'$, $128^{\circ}21.667'$, $34^{\circ}46.000'$, $128^{\circ}20.550'$, $34^{\circ}46.000'$, $128^{\circ}21.667'$ 의 면적에 대해 조사된 탄성과 자료와 입도분석 자료(김 등, 2004)를 이용하였으며, 시설 후 자중과 저인망 등의 예인에 의한 인위적인 하중(특히 수평하중 등)에 의한 침하에 대해 기술하였다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법

가. 강재의 용접방법별 시공도 분석

다기능성 대형어초는 콘크리트와 강재로 구성되나 90 % 이상이 강재로 구성된다. 따

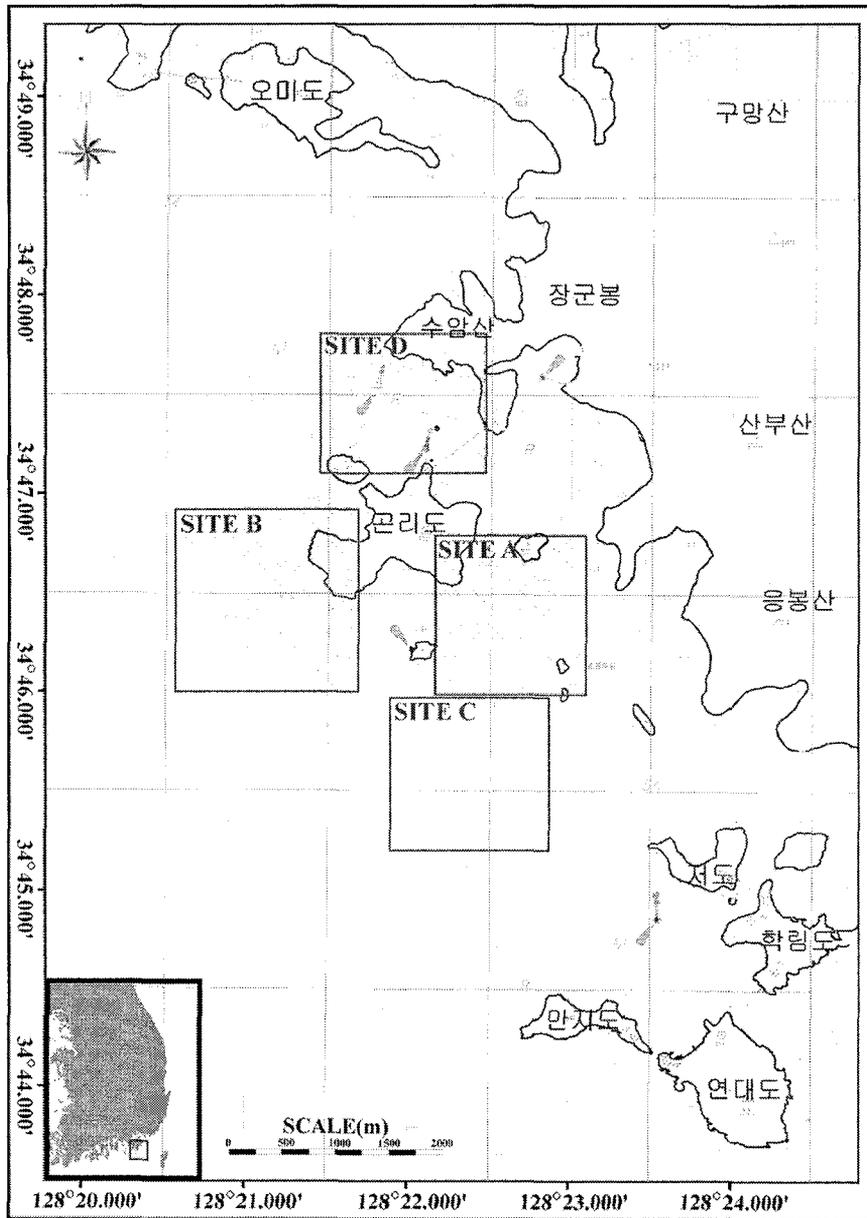


그림 1. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사지역(Site B).

Fig. 1. Locations of acoustic profile survey (Site B) for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea.

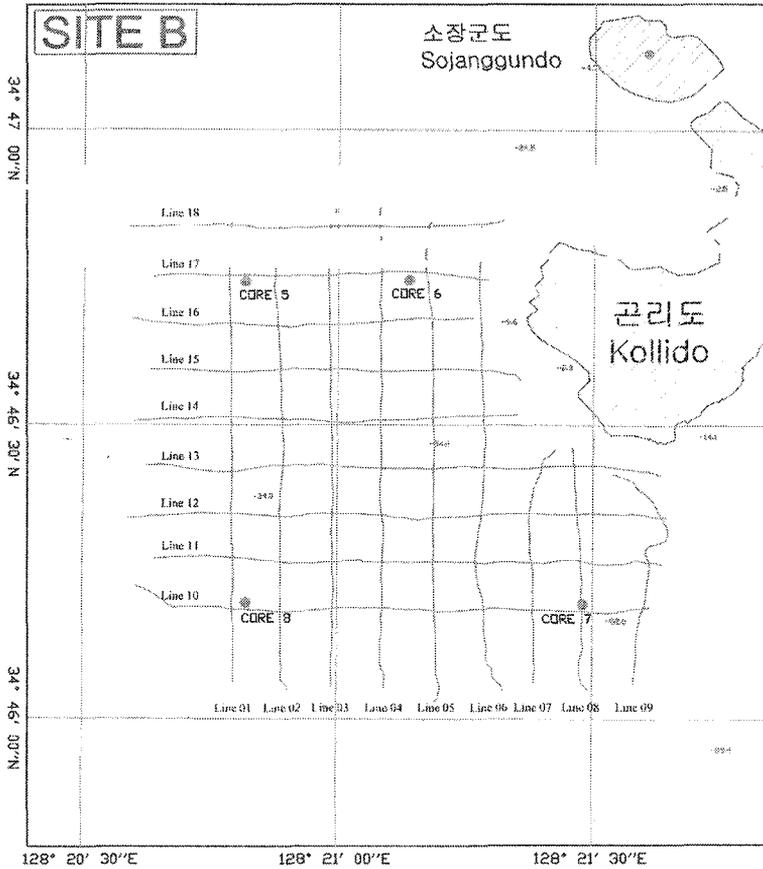


그림 2. 바다목장 조성지 내의 B지역(곤리도 외측)에서 코어시료 채취위치.

Fig. 2. Locations of collecting coar samples for site selection of artificial reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. Site B indicates survey area.

라서 강재를 절단하여 어초를 제작하는 과정에서 필요한 용접방법을 기술하였고, 용접방법에 따른 단가에 미치는 영향을 고려하여 동 어초를 제작하는 과정에서 가장 적합하다고 판단되는 용접방법을 제시하였다.

나. 콘크리트와 강재의 복합체 시공방법분석

앞서 언급한 바와 같이 동 어초는 콘크리트와 강재의 복합체로 구성된 어초로 제작되었다. 따라서 제작과정에서 콘크리트와 강재의 상이한 상으로 인해 부적절한 시공이 우려되므로 이에 대해 기술하였으며, 특히, 내구성의 차이로 인한 일정기간 후의 콘크리트와 강재의 결속력 약화로 인해 구조체가 와해될 우려에 대해서도 구조적 특성을 강화한다는 측면에서 기술하였다.

다. 대형어초의 제작 후 시설방법 분석

동 어초는 높이가 15 m이며, 자중이 약 58톤의 대형어초이다. 따라서 제작 후 어초가 시설될 해역으로의 이동과정에 많은 어려운 점이 있다. 주요한 어려운 점으로는 제작 후 제작장에서 바지선까지의 이동, 시설지에 어초를 시설하는 것 등이다. 이에 대해 적절한 공법을 단가절감과 시공의 용이성 확보차원에서 기술하였다.

3. 시설된 대형어초의 효과조사

가. 대형어초에 모여든 어류의 수직분포형상 분석

금회 제작, 시설된 다기능 대형어초는 그 높이가 개략 15 m 정도로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 콘크리트와 강재를 사용하여 어초를 피라 및 형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임(저층에서 5m 높이까지)과 중층프레임(5~10 m) 및 하층프레임(10~15 m)으로 3원화시킴으로서, 하층프레임에는 조피볼락이나 쥐노래미 또는 쏘뱅이나 넙치 등과 같은 주축성 어류의 위집에 적합한 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔이나 돌돔 또는 감성돔과 농어 등과 같은 보목적성 어류의 위집에 적합한 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다. 또한 상층프레임에는 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류의 위집에 적합한 체류공간을 제공할 수 있도록 설계하였다. 따라서 당초 설계대로 어초의 각 층별로 어류가 모여드는지 조사하였다. 자료는 삼중자망과 잠수조사를 이용하여 분석하였다.

나. 대형어초의 내부에 모여든 어류의 위치

(1) 항에서 언급한 바와 같이 대형어초는 정착성 어류의 서식 및 회유성 어류의 체류에 적합하도록 여러 층의 층상공간을 제공하되, 테구조와 면구조를 적절히 조합시켜 어류의 서식공간과 풍부한 음영을 갖도록 하였다. 하층부 저면에는 통로관을 설치하여 주축성 어류의 서식에 적합하도록 하고, 중층부는 각 층마다 차단판과 사재(斜材)를 적절히 조합시켜 음영과 와류발생을 풍부하게 하며, 상층부는 사각뿔의 형상을 가지도록 한 상태에서 지붕을 형성하는 부분에 차단판을 교호(交互)로 설치하여 차광 및 와류의 발생을 극대화시킬 수 있도록 하였다. 따라서 당초 설계대로 어초의 내부 공간 즉, 흡관이나, 차단판과 사재(斜材)의 주위, 각 부재별로 어류가 모여든 위치를 잠수관찰을 이용하여 분석하였다.

다. 대형어초의 시설 후 안정성 분석

동 어초를 시설 한후 자중이나 외력에 의해 매몰이나 전도가 야기되지 않는지 잠수관찰을 이용하여 조사하였다. 특히, 강재를 이용한 어초는 용접과정에서의 부주의로 인해 용접부의 부식의 용이, 부식으로 인한 부재의 이탈 등의 우려가 크므로 이에 대해서도 조

사하였다.

Ⅲ. 결과 및 토의

1. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석 가. 시설 예정지의 유속, 저질, 서식어종 분석

(1) 유속 및 저질

통영바다목장지역 내에 대형어초를 시설할 수심 40 m인 곳은 그림 1 중 Site B 이며, 조사 면적은 약 2.38 km² 정도이다. 이 곳의 최강평균유속은 0.8 kn이며, 주조류방향은 서북-동남방향이다. 그리고 수심은 2~55 m 정도로 이루어져 있으며, 곤리도에서 서쪽 방향으로 가면서 약 55 m의 최고 수심을 보이다가 점차 감소하며, 최고 수심이 나타나는 부분은 남북 방향으로 길게 골을 이루고 있다. Site B 지역의 탄성파자료, 즉 그림 3-3-1 에서와 같이 음향기반암(acoustic basement)은 수심 약 55~68 m 정도에서 확인되었으며, 약 10~30 m 정도의 두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리가 잘 발달되어 있다. 수심 55 m의 곤리도 근처의 지역(Line 08)을 제외하고는 주상시료 분석결과 대부분 니질 퇴적물로 구성되어 있다. 이는 본 조사지역의 탄성파 단면과 잘 일치하고 있다. Site B에서 획득한 주상시료는 총 4개(정점 5, 6, 7, 8)였으며, 평균 입도가 6.33~9.49 ϕ 로 나타났다. 퇴적물 유형은 평균 입도에서도 알 수 있듯이 전반적으로 M (mud)가 우세하게 분포하고 있으며 다음으로 C (clay)가 우세하며 부분적으로 (g)sM (slightly gravelly sandy mud)로 나타났다(표 1). 정점 5에서는 총 110 cm의 시료를 획득하였으며 평균 입도는 8.16~8.52 ϕ 로 거의 균질한 니질 퇴적물로 이루어져 있다. 또한 퇴적물 유형 역시 M (mud)와 C (clay)로 전체적으로 유사하게 나타났다. 정점 6은 137 cm의 시료가 획득되었다. 평균 입도는 8.40~9.49 ϕ 로서 정점 5와 같이 거의 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있다. 그러나 정점 5에 비해서는 상대적으로 점토(clay)의 함량이 높게 나타났으며 퇴적물 유형에서도 C (clay)가 우세하게 나타났다. 정점 7의 경우 획득된 시료가 80 cm로서 다른 세 정점에 비해 하부에서 상대적으로 모래(sand)의 함량이 높게 나타났다. 평균 입도는 6.33~8.52 ϕ 이며 퇴적물 유형은 C (clay), M (mud), (g)sM (slightly gravelly sandy mud) 등으로 나타났다. 정점 8에서 획득한 시료의 길이는 116 cm이며 퇴적물 유형은 전체가 M (mud)으로 이루어진 균질한 상태를 나타냈다. 평균 입도는 7.70~8.46 ϕ 를 보였으며 사질의 함량은 10% 미만이고 실트(silt)질 퇴적물보다 점토(clay)질 퇴적물의 함량이 조금 높게 나타났다. 한편, Site B에서는 퇴적물 유형이 다른 조사지역에 비해 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있으며 전단응력 역시 이와 관련하여 1.28~5.47 kPa로 상대적으로 낮은 값을 보인다(표 1). 일반적으로 해양퇴적물에서의 전단응력은 퇴적물 깊이가 깊을수록 다짐, 속성작용에 의해 점진적인 증가를 보이는데 site B에서 역시 정점별 전단응력은 부분적인 입도별 함

량에 의한 차이는 있으나 하부로 갈수록 퇴적물 다짐작용에 의해 점진적인 증가를 보인다. 이상의 저질자료를 토대에 의거 금회 시설될 어초는 높이가 15 m의 것으로 전체의 육상에서의 자중은 약 58톤 정도인 것을 감안할 때, 정점 7지역에 시설할 경우 매몰의

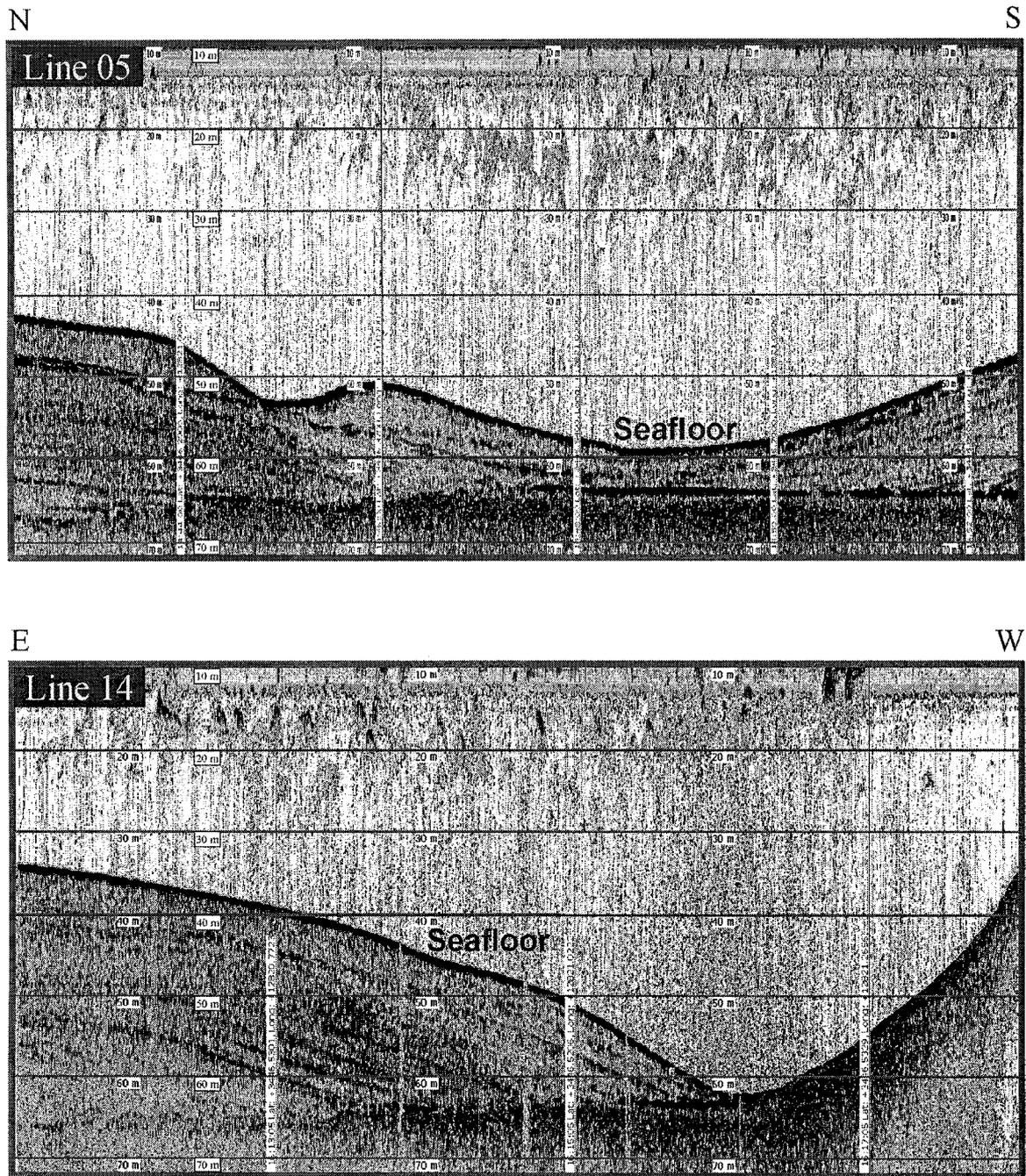


그림 3. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도(김 등, 2004).

Fig. 3. Acoustic profile of site B situated in the west of Konri-do in the province of Kyongnam, Korea (Kim et al., 2004).

표 1. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 저질입도 및 전단강도(김 등, 2004)

Table 1. Grain compositions and its shear strength of vertical sediment collected at site B in the west of Konri-do in the province of Kyongnam, Korea (Kim et al., 2004)

Station No.	Core Depth (cm)	평균입도 (Φ)	분급도 (Φ)	Gravel	Sand	Silt	Clay	퇴적물 유형	Shear Strength (kPa)
CORE 05	10	8.16	1.78	0.00	0.80	42.58	56.62	M	1.28
	20	8.38	1.88	0.00	1.62	33.79	64.59	M	1.28
	30	8.29	1.91	0.00	1.00	37.23	61.77	M	1.90
	40	8.52	1.70	0.00	0.21	32.79	67.00	C	2.82
	50	8.25	1.85	0.00	0.39	38.83	60.79	M	1.49
	60	8.29	1.75	0.00	0.60	39.30	60.10	M	2.59
	70	8.33	1.77	0.00	2.16	36.16	61.68	M	3.92
	80	8.31	1.80	0.00	1.56	36.84	61.60	M	3.48
	90	8.31	1.76	0.00	0.70	39.02	60.28	M	1.28
	100	8.34	1.83	0.00	0.55	38.71	60.74	M	3.48
CORE 06	10	9.49	1.71	0.00	0.07	16.56	83.37	C	1.28
	20	8.70	1.79	0.00	0.07	32.94	66.99	C	1.28
	30	8.93	1.69	0.00	0.21	25.27	74.52	C	1.28
	40	8.87	1.79	0.00	0.05	26.40	73.55	C	1.28
	50	8.81	1.67	0.00	0.25	28.29	71.46	C	1.49
	60	8.72	1.67	0.00	0.04	29.89	70.07	C	1.71
	70	8.98	1.61	0.00	0.14	24.50	75.36	C	3.04
	80	8.99	1.76	0.00	0.98	24.78	74.24	C	2.82
	90	8.47	1.93	0.00	0.21	34.74	65.05	M	4.14
	100	8.40	1.84	0.00	1.55	35.02	63.43	M	4.14
	110	8.88	1.75	0.00	0.64	25.99	73.37	C	4.80
	120	9.27	1.65	0.00	1.11	18.92	79.98	C	4.36
	130	9.18	1.59	0.00	2.32	7.58	90.10	C	5.47
CORE 07	10	8.52	1.91	0.00	2.56	28.08	69.36	C	1.28
	20	8.33	2.05	0.00	2.29	35.07	62.64	M	1.28
	30	8.11	2.18	0.00	9.54	43.43	47.03	M	2.37
	40	8.22	1.93	0.00	1.74	36.63	61.62	M	2.82
	50	8.27	2.27	0.00	8.11	28.32	63.57	C	3.92
	60	6.81	3.46	1.66	28.80	18.25	51.29	(g)sM	2.37
	70	6.33	3.67	5.37	23.59	36.99	34.06	(g)sM	-
CORE 08	10	8.08	1.82	0.00	0.71	43.03	56.26	M	1.49
	20	8.28	1.90	0.00	1.35	36.45	62.20	M	1.49
	30	8.05	2.08	0.00	1.44	41.46	57.10	M	1.49
	40	8.09	2.17	0.00	4.05	36.96	58.98	M	1.49
	50	8.06	1.81	0.00	0.36	44.36	55.29	M	1.90
	60	8.25	1.78	0.00	0.92	38.99	60.09	M	1.28
	70	7.70	2.58	0.00	9.93	32.69	57.38	M	3.04
	80	8.46	1.69	0.00	0.65	34.80	64.55	M	3.04
	90	8.25	1.91	0.00	0.50	38.64	60.85	M	2.59
	100	8.25	1.95	0.00	1.05	38.45	60.50	M	3.26
	110	8.21	1.99	0.00	1.46	38.81	59.73	M	2.37

우려는 상대적으로 적을 것으로 판단된다.

(2) 서식어종

바다목장 조성에 의한 수산자원 조성효과를 극대화 시키기 위해서는 어장의 특성을 정확히 파악해야 한다. 여기서 어장의 특성이란 수심, 저질, 조류 등 물리적인 요소와 출현어종, 먹이생물 등 생물적 요소, 이용어법 등 사회적 요소 등이 복합적으로 작용하여 어획효과의 대소로 나타난 현상으로 설명할 수 있다. 이중에서 가장 중요한 요소로는 출현어종(서식어종)을 들 수 있으며, 이것은 양적 개념과 관련 있다고 생각된다. 따라서 어초어장 조성 후 어획효과의 향상은 출현어종의 어초성을 얼마나 정확히 어초의 구조 및 배치형태에 반영하였느냐에 달려있다고 볼 수 있다. 1997년 2월부터 12월까지 통영 바다목장에 위치한 곤리도 인근 해역에서 채집한 자치어는 76종이었고, 1997년 2월부터 8월까지 통영 어시장에서 조사된 성어는 모두 89종 이었다(김 등, 1999). 이들 어종(자치어 및 성어)에 대해 어초성을 분류하면, 자치어의 경우 접촉자극이 강한 I형 어류는 조피볼락, 볼락 등 19종(25%)이었고, 시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류는 참돔, 감성돔 등 9종(12%) 이었다(그림 4). 한편 성어의 경우 I형은 조피볼락, 볼락 등 19종(21%), II형은 참돔, 농어 등 21종 (24%), III형은 방어, 고등어 등 8종(9%)이었다(그림 5).

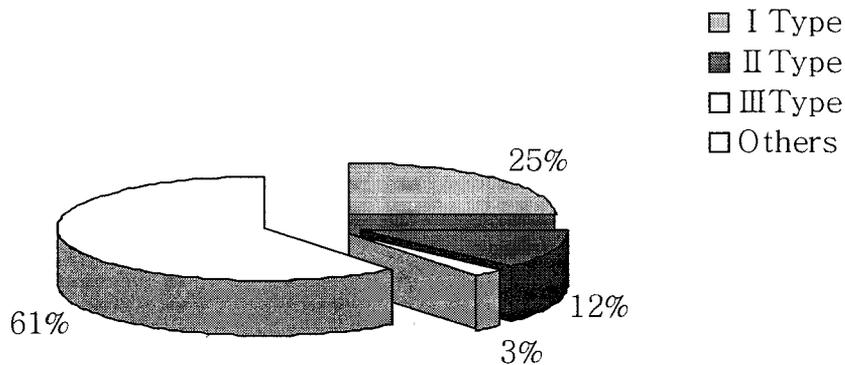


그림 4. 통영해역에서 1997년 2월에서 12월까지 채집된 자치어의 어초성 분류.

Fig. 4. Diagram of response patterns to artificial reef of fish larvae species collected in Tongyong coastal area from February to December in 1997.

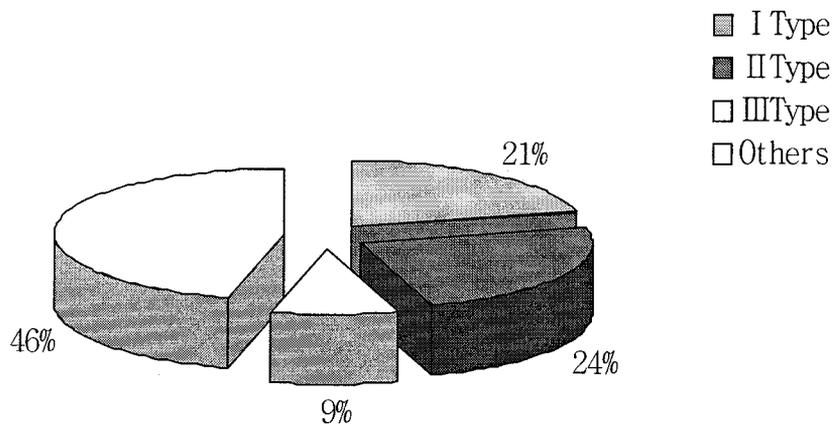


그림 5. 통영 어시장에서 1997년 2월에서 8월까지 조사된 성어의 어초성 분류.

Fig. 5. Diagram response patterns to artificial reef of fish observed at Tongyong fish market from February to August in 1997.

나. 시설 후 매몰방지 공법 분석

통영바다목장 지역 내의 수심 40 m 이상인 곳에 대형어초를 시설하여 어업인들이 일정기간 사용하기 위해서는 시설 후 침하로 인한 어초의 기능저하 등이 없어야 한다. 본 연구에서는 매몰방지 공법과 관련해 어초 자중에 의한 침하(자연적 측면) 및 자망이나 저인망 등 예인과정에서 수평하중 등의 작용으로 인한 침하(인위적인 측면)에 대해 분석하였다.

(1) 다기능 고층어초의 구조형태

본 연구에서 개발(2004년)한 다기능고층어초는 높이가 30, 15 m의 2종류로 설계하였다. 금회 시설될 어초는 높이가 15 m 정도로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 콘크리트와 강재를 사용하여 어초를 피라미트 형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임과 중층프레임 및 하층프레임으로 3원화시킴으로서, 하층프레임에는 조피볼락이나 쥐노래미 또는 쏨뱅이나 넙치 등과 같은 주축성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔이나 돌돔 또는 감성돔과 농어 등과 같은 보목적성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다(田中, 1979; 1986). 또한 상층프레임에는 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류를 위한 최적의 체류공간을 제공할 수 있도록 설

계하였다 (그림 6).

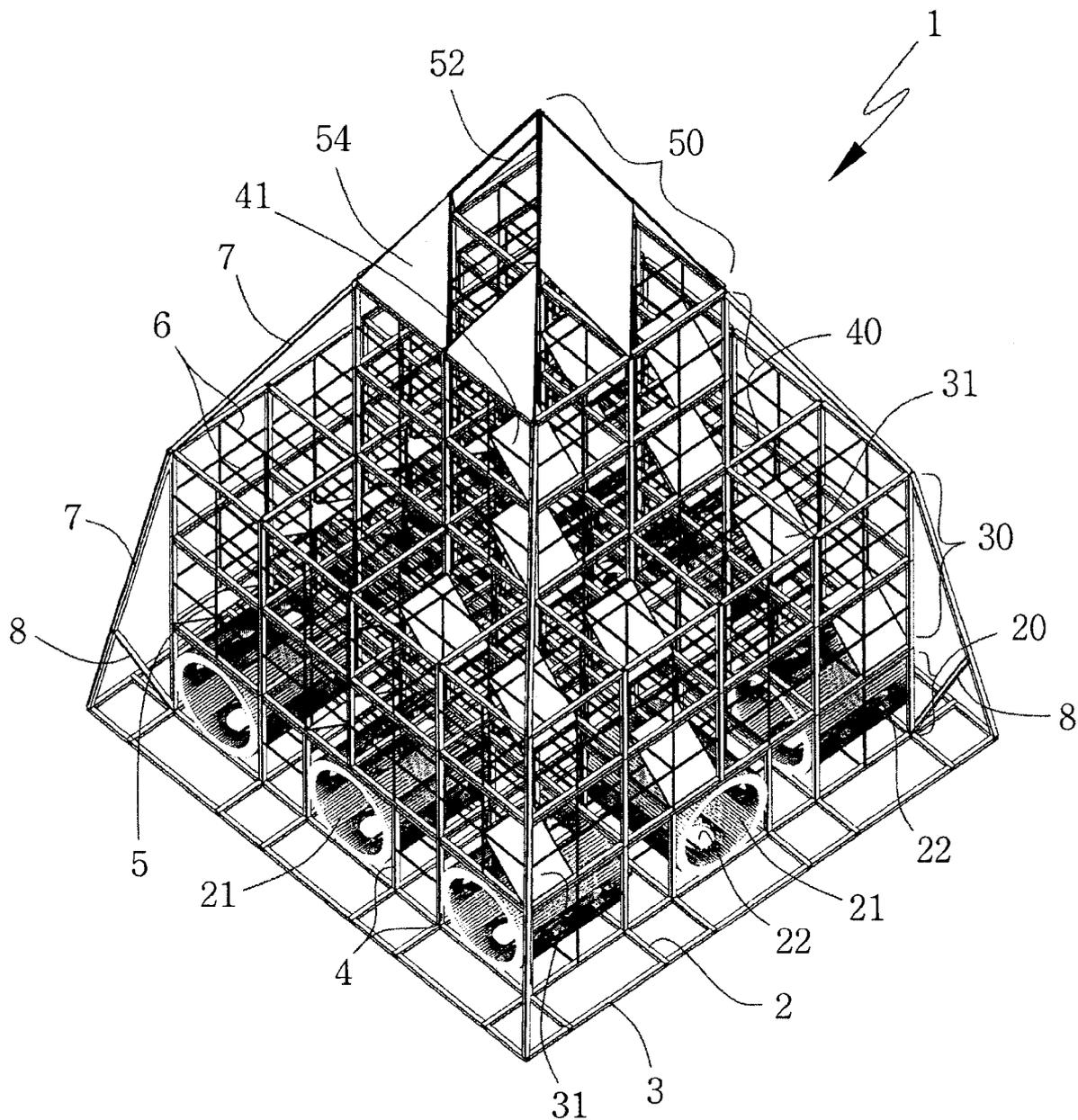


그림 6. 다기능고층어초의 형상.

Fig. 6. Structural shape of a high-storied-multifunctional reef.

다기능고층어초는 정착성 어류의 서식 및 회유성 어류의 체류에 적합하도록 여러 층의 층상공간을 제공하되, 테구조와 면구조를 적절히 조합시켜 어류의 서식공간과 풍부한 음영을 갖도록 하였다. 하층부 저면에는 통로관을 설치하여 주축성 어류의 서식에 적합하도록 하고, 중층부는 각 층마다 차단판과 사재(斜材)를 적절히 조합시켜 음영과 와류발생을 풍부하게 하며, 상층부는 사각뿔의 형상을 가지도록 한 상태에서 지붕을 형성하는 부분에 차단판을 교호(交互)로 설치하여 차광 및 와류의 발생을 극대화시킬 수 있도록 하였다. 특히, 그 바닥부측에는 전도방지용 바닥프레임이 돌출되도록 설치되어 있고, 이 바닥프레임의 외곽부가 보강프레임에 의하여 중층부 구조물의 모서리 부분과 견고하게 연결됨으로서, 15 m 높이의 인공어초가 풍랑이나 조류에 의하여 전도 및 파손되는 것을 보다 완벽하게 방지할 수 있도록 함과 동시에, 그물과 같은 어구가 인공어초의 상부 측에 걸리지 않고 해저 면까지 용이하게 침강될 수 있도록 하였다.

(2) 시설 후 침하방지 공법

앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 침하방지 공법과 관련해 어초 자중에 의한 침하(자연적 측면) 및 자망이나 저인망 등 예인과정에서 수평하중 등의 작용으로 인한 침하(인위적인 측면)에 대해 분석하였다. 전자와 관련해서는 다기능어초가 시설될 Site B(그림 1)의 정점 7의 자료를 토대로 분석하였다. 동 정점에서 획득된 시료는 80 cm로서 다른 세 정점에 비해 하부에서 상대적으로 모래(sand)의 함량이 높게 나타났다. 평균 입도는 6.33~8.52 ϕ 이며 퇴적물 유형은 C (clay), M (mud), (g) sM (slightly gravelly sandy mud) 등으로 나타났다. 퇴적물의 유형은 통영바다목장 조성지의 다른 조사지역에 비해 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있으며 전단응력 역시 이와 연관하여 1.28~5.47 kPa로 상대적으로 낮은 값을 보이고 있기 때문에 접지면적을 크게 하여 자중을 분산시키므로써 매물이 적게 야기되도록 하였다. 저면의 크기는 15 × 15 m로 하였으나 실제 자중의 분산에 기여한 면적은 10 × 10 m로 전체 면적 225 m² 중 100 m²로 약 44%에 해당한다. 15 m 중 5 m의 부분은 외팔보의 역할을 하며 전도에 대한 저항(모멘트 값)을 크게하는 역할을 한다고 할 수 있다. 자중의 분산을 분담할 저면의 10 × 10 m 부분은 일정한 간격으로 H 빔과 L형강이 배치되며, 모서리 4곳에 직경 1.2 m의 홉관이 부착된다. 따라서 10 × 10 m부분의 실제의 접지면적(L형강 면적은 제외)은 18.6 m²(H 빔 0.15 × 10 m × 6본, 홉관 1.2×2 m × 4본)이 된다. 이 값을 수중에서의 다기능어초의 자중 약 50톤에 대해 단위 면적당 접지압으로 환산하면, 0.27 kg/cm²로 된다.

한편, 자망이나 저인망 등 예인과정에서 수평하중 등의 작용으로 인한 침하(인위적인 측면)과 관련해서는 어초가 외력에 의해 전도되는 과정에서의 한쪽 면의 집중 하중으로 인한 침하를 들 수 있다. 전도 외력을 가정해보면 어초의 정점에 그물이 걸렸을 경우 전도에 필요한 외력(435톤)은 29톤(15 m × 29톤)이며, 이 값은 실제 어업현장에서는 일어나

기 어려우므로 외력에 의한 침하의 우려는 없을 것으로 판단된다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법

가. 강재의 용접방법별 시공도 분석

용접방법별 시공분석에 앞서 용접방법 및 부식에 대해 시공과정에서의 주의 점 혹은 착안점, 그리고 내구성과 관련하여 부식에 대해 기술하였다.

(1) 용접 방법 및 검사

어초의 용접부를 아크 수용접, 가스실드(gas-shielded)아크 반자동용접, 셀프실드아크 반자동용접, 서버머지드(submerged) 아크 자동용접으로 하는 경우에 고려하여 기술하였다. 용접을 하기 전에 용접재료의 선정 및 관리, 모재의 청소가 중요하다. 용접재료의 선정과 관련해서는 피복아크용접봉, 와이어 및 가스등의 용접재료는 KS 규격품을 원칙으로 한다. 그리고 용접재료는 습기를 흡수하지 않도록 보관하고, 흡습되었다고 의심이 가는 경우는 건조기 등으로 성능이 유지되도록 하여 사용하여야 한다. 흠의 확인 및 모재의 청소와 관련해서는 흠의 확인의 경우 용접에 앞서 흠이 적절한가, 부적절한가를 확인하고, 부적절한 흠의 경우에는 용접을 하여서는 안되며, 흠을 수정하고, 용접에 지장이 없는 상태가 되도록 하여야 한다. 그리고 모재의 용접면은 용접에 앞서 슬래그, 수분, 녹, 기름, 도료, 기타 용접에 지장을 주는 것을 제거하여야 한다.

용접가공과 관련해서는 용접부는 균열, 기공등, 틈새부식에 유해한 결함이 있어서는 안된다. 또한, 용접은 용접방법, 강종과 판두께 및 작업환경에 따라서, 용접전류, 아크전압, 용접속도, 가스유량 등의 적절한 조건을 선정하여 실시하여야 한다. 공장용접은 회전지그, 포지셔너 등 적절한 지그를 사용하고 가능한 한 용접자세는 아래보기로 행하도록 한다. 이 과정에서 용접의 작업방법 및 순서는 변형과 잔류응력이 최소가 되도록 대책을 세워 결함이 없도록 용접한다. 아크 개시점에는 특히 용입불량과 슬래그취입에 주의하여야 한다. 또 아크의 종료점 및 비드의 종단에는 균열이 발생하지 않도록 건전한 용착금속으로 그 크레이터(crater)부를 충분히 메꾸어 두지 않으면 안 된다. 기온이 0℃이하의 경우는 용접을 하지않으며, 단 용접부 보다 100 mm 범위의 모재 부분을 36℃ 이상으로 가열하여 용접하는 경우는 가능할 수 있다. 특히, 바람이 강한 날은 바람을 차단시켜 용접을 하여야 한다. 우천시나 습도가 높은 경우는 예를 들어 실내라 해도 수분이 모재의 표면 및 표면 부근에 없는 것을 확인하고 용접을 하여야 한다. 이 과정에서 철망의 부착은 부식손상에 의해 이탈되지 않도록 용접하여야 한다. 슬래그의 제거는 각 칸별립 및 용접 완료 후에 하며, 용접부 부근에 부착하여 있는 스파터들은 제거하여야 한다.

맞대기 용접은 받침쇠를 사용하는 경우, 건전한 루트부 용입이 얻어지도록 충분한 루트 간격을 잡고, 받침쇠를 밀착되도록 하여야 하고, 받침쇠는 용접성에 문제가 없는 것을

선택하여야 한다. 필릿 용접의 경우 등각 필릿 용접의 양각장은, 심한차가 있어서는 않된다. 부재의 밀착과 관련하여 필릿용접된 상호부재는 충분히 밀착되지 않으면 안 된다. 필릿용접 시 가능한 한 볼록형 비이드를 피하고 덧살의 높이는 3 mm 이하로 하여야 한다. 그리고 들레용접(boxing)의 경우 앤드탭(endtab)을 사용하지 않는 필릿용접의 처음과 끝은 매끄럽게 들레용접을 하도록 한다.

용접부의 표면결함검사 및 정도는 육안검사를 표준으로 하지만, 그 기준은 아래 표와 같다. 용접 종료 후의 검사에 의해 불합격한 부분은 유해한 결점이 있는 용접부분은 제거하고 재용접한다든지, 혹은 용접부에 균열이 생긴 경우는 그 용접부를 전장에 걸쳐 제거하고 재용접 하는 등 적절한 방법으로 수정하여야 한다(표 2).

표 2. 용접 외관 검사 기준

Table 2. Criterion of external inspection to welding

결함의 종류	허용범위
용접 비드 표면의 피트(pit)	필릿 용접에는 이음부에 흠집 3개, 또는 이음부 길이 1m에 흠집 3개까지를 허용한다.
용접 비드 표면의 요철	비드 표면의 요철은 비드 길이 25mm의 범위에 있어서 고저차로 나타내며 3mm를 넘는 요철이 있어서는 안 된다.
언더컷	언더컷의 깊이는 0.8mm를 넘어서는 안 된다.
오버랩	오버랩이 있어서는 안 된다.
필릿용접의 크기	필릿용접의 크기 및 목두께는 지정 필릿 크기 및 목두께 이상이어야 한다.

(2) 부식과 방식

(가) 부식환경

강제어초는 약 200 m 정도까지의 해저에 시설된다. 따라서 부식 환경은 해중, 해저부이다.

(나) 부식요인

해중, 해저부의 부식은 주로 수온 및 용존산소량에 의해 좌우된다. 온난해역에서는 한냉해역보다 부식량이 크다. 또 통상 수심이 깊어짐에 따라 수온, 용존산소량이 저하하

고 부식량도 적게된다. 우리나라는 일본에 비해 수온이 비교적 낮은 편에 속한다.

(다) 부식허용량

착저형의 강제어초의 부식허용량은 어초 최상부의 수심으로 결정한다. 보통강을 사용한 강제어초의 최상부가 20 m 이상의 수심인 경우는 표 3의 값을 기준으로 한다. 강제어초의 강재를 耐海水性鋼을 사용할 경우는 종류에 따라 차이가 있으나 부식량이 보통강의 약 1/2 정도이다.

표 3. 강제어초의 부식허용량

Table 3. Corrosion tolerance limit of steel reef

수 심	부 식 량(편면)
20~50 m	1.2 mm/30년
50 m 이상	0.9~1.0 mm/30년

* 여유율은 공식 등의 국부부식을 고려하여 2.0배로 한다.

(라) 전기방식

부식허용량에 의한 방식에 추가로 전기방식을 함께 사용함으로써 부식에 의한 부재 두께감소 및 집중부식을 줄일 수 있다. 전기방식은 통전방식에 의해 유전양극방식과 외부전원방식이 있다. 별도 유전양극방식을 할수 있다. 유전양극방식은 알루미늄, 마그네슘, 아연 등의 양극을 강제구조물에 접촉시키고, 양금속간의 전위차로서 발생하는 전류를 방식전류로서 이용하는 방식이다. 유전양극재료는 알루미늄 합금이 단위중량당의 발생전기량이 가장 많고, 경제성이 우수하며, 해수중의 환경에 적합하다.

(마) 피복재 및 기타 방식

피복재에 의한 방식에는 무기라이닝 공법, 도장공법 및 유기라이닝 공법이 있다. 부식대에 의한 방식에 피복재에 의한 방식을 채용하는 것에 의해 부식에 의한 부재두께 감소를 줄일 수 있다.

나. 콘크리트와 강제의 복합체 시공방법분석

본 연구에서 시설 예정인 다기능 고층어초는 계약 중에 있기 때문에 계약이 완료되어 제작하는 과정에서 적합한 시공방법을 분석하여 기술할 예정이다. 현재 고려하고 있는

시공방법으로는 본체부를 각 3등분하여 저층, 중층, 상층부로 나누워 부분 제작 후 크레인으로 거치하여 본체를 용접하고, 그 다음에 하부의 외팔보용 H빔 강재를 본체에 용접하는 방법이다. 특히, 저층의 저면부에 원형 흡관을 결착하는 방법에 대해서는 콘크리트와 강재간의 상이 다르므로 결착재의 내구성을 고려하여 하며, 결착은 원형 흡관이 본체에서 움직이지 않도록 해야 한다.

다. 대형어초의 제작 후 시설방법 분석

동 어초는 높이가 15 m이며, 자중이 약 58톤의 대형어초이다. 따라서 제작 후 어초가 시설될 해역으로의 이동과정에 많은 어려운 점이 있다. 주요한 어려운 점으로는 제작 후 제작장에서 바지선까지의 이동, 시설지에 어초를 시설하는 것 등이다. 이와 관련해서는 여러 가지 공법이 있으나, 가장 용이한 공법으로는 제작장에서 바지선까지의 이동은 크레인으로 하고, 시설지에서의 어초거치는 충격하중에 의한 원형흡관 등이 본체로부터 이탈되지 않도록 시설하는 방법이다. 다른 공법으로는 어초의 저면에 어초의 자중에 견딜 수 있는 부력재를 부착하고, 크레인을 이용하여 바다에 띄운 후 예인선을 이용하여 시설지까지 운반하고, 시설 시는 부력재를 제거시키는 방법이다. 그러나 이 공법은 시설시 부력의 불균형으로 인해 불안정한 상태로 시설될 우려가 있다. 이를 해소하는 방법으로 시설지까지 이동 후 크레인을 이용하여 거치하는 방법이 좋을 것으로 생각된다. 이에 대해서는 제작 후 시설 시에 충분히 검토 분석할 예정이다.

3. 시설된 대형어초의 효과조사

시설한 다기능고층어초에 대해 설계대로 각 층별로 어류가 위집하는지, 어떤 어종이 각 부위에 모여드는지 분석할 예정이다. 이와 함께 시설 후 침하량 등에 대한 안정성 분석도 실시 예정에 있다.

IV. 요약 및 결론

1. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석

통영바다목장지역 내에 대형어초를 시설할 수심 40 m인 곳은 최강평균유속이 0.8 kn이며, 주조류방향은 서북-동남방향이다. 그리고 수심은 약 55~68 m 정도에서 확인되었으며, 약 10~30 m 정도의 두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리가 잘 발달되어 있다. 이들의 자료에 의거 금회 시설될 어초는 높이가 15 m의 것으로 전체의 육상에서의 자중은 약 58톤 정도인 것을 감안할 때, 정점 7지역에 시설할 경우 매몰의 우려는 상대적으로 적을 것으로 판단된다.

가. 시설 후 매몰방지 공법 분석

다기능고층어초의 지면의 크기는 15×15m로 하였으나 실제 자중의 분산에 기여한 면적은 10×10 m로 전체 면적 225 m² 중 100 m²로 약 44%에 해당한다. 그러나 10×10 m부분의 실제의 접지면적(L형강 면적은 제외)은 18.6 m²(H빔 0.15×10 m ×6본, 흡관 1.2×2m × 4본)이며, 이 값을 수중에서의 어초의 자중 약 50톤에 대해 단위면적당 접지압으로 환산하면, 0.27 kg/cm²로 된다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법

가. 강재의 용접방법별 시공도 분석

어초의 용접은 아크 수용접, 가스실드(gas-shielded)아크 반자동용접, 셀프실드아크 반자동용접, 서버머지드(submerged) 아크 자동용접를 고려하여 각 방법으로 주의점을 기술하였다. 용접부의 표면결함검사 및 정도는 육안검사를 표준으로 하며, 용접 종료 후의 검사에 의해 불합격한 부분은 유해한 결점이 있는 용접부분은 제거하고 재용접 한다든지, 혹은 용접부에 균열이 생긴 경우는 그 용접부를 전장에 걸쳐 제거하고 재용접 하는 등 적절한 방법으로 수정하여야 한다.

나. 콘크리트와 강재의 복합체 시공방법분석

본 연구에서 시설 예정인 다기능 고층어초는 계약 중에 있기 때문에 계약이 완료되어 제작하는 과정에서 적합한 시공방법을 분석하여 기술할 예정이다. 현재 고려하고 있는 시공방법으로는 본체부를 각 3등분하여 저층, 중층, 상층부로 나누워 부분 제작 후 크레인으로 거치하여 본체를 용접하고, 그 다음에 하부의 외팔보용 H빔 강재를 본체에 용접하는 방법이다.

다. 대형어초의 제작 후 시설방법 분석

본 연구에서는 2가지 공법을 고려하였다. 제작장에서 바지선까지의 이동은 크레인으로 하고, 시설지에서의 어초거치는 충격하중에 의한 원형흡관 등이 본체로부터 이탈되지 않도록 시설하는 방법과 어초의 저면에 어초의 자중에 견딜 수 있는 부력재를 부착하고, 크레인을 이용하여 바다에 띄운 후 예인선을 이용하여 시설지까지 운반하며, 시설 시 부력재를 제거시키는 방법이다. 그러나 후자의 공법에 대해서는 시설 시 부력의 불균형으로 인해 불안정한 상태로 시설될 우려가 있으므로 시설지까지 이동 후 크레인을 이용하여 거치하는 방법이 좋을 것으로 생각된다. 이에 대해서는 제작 후 시설 시에 충분히 검토 분석할 예정이다.

3. 시설된 대형어초의 효과분석

다기능고층어초는 현재 제작 중이며, 금후 시설이 완료되면, 동 어초가 설계대로 각 층별로 어류가 위집하는지, 어떤 어종이 각 부위에 모여드는지 분석할 예정이다. 이와 함께 시설 후 침하량 등에 대한 안정성 분석도 실시 예정에 있다.

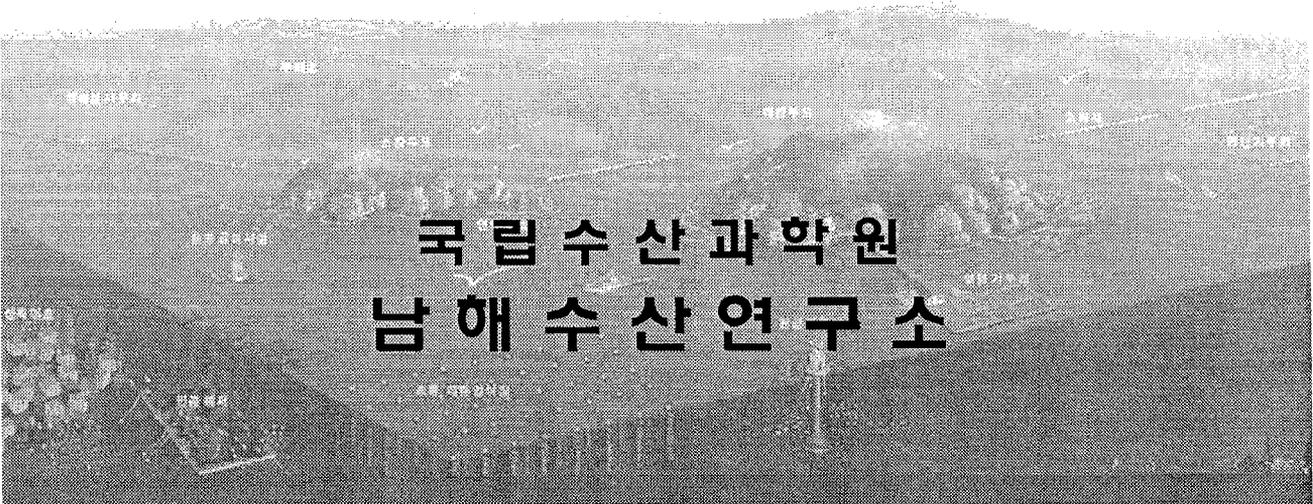
참 고 문 헌

- Kim, C. G., J. W. Lee, and J. S. Park. 1994. Artificial reef designs for Korean coastal waters. *Bull. of Marine Science*, 55 (2-3), 858-866.
- 田中 克, 1979. マダイ稚魚の底生生活への移動過程. *水産土木* 16 (1) : 47-57.
- 田中 克, 1986. 稚仔魚の生態, マダイの資源培養技術 (田中 克・松官義晴編). 恒星社厚生閣 東京 : 59-74
- 김 창길, 정의철, 김호상, 1999. 통영해역 바다목장화 연구 개발 용역 사업 보고, 국립수산진흥원, 58 p.
- 김 창길, 김 호상, 백 철인, 정 도훈, 2004. 통영해역 바다목장화 연구 개발 용역 사업 보고, 국립수산과학원, 112 p.

통영해역 바다 목장화 연구 개발 용역사업 보고서
- 인공어초 조사

Study on the Development of Marine
Ranching Program in Tongyeong, Korea
- Survey of artificial reefs

2007. 5



국립수산과학원
남해수산연구소

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 『2006 통영해역의 바다목장연구개발 용역사업보고서』 중 어초조사의 보고서로서 제출합니다.

2007. 5

주관 연구기관 : 한국해양연구소

총괄 연구 책임자 : 명 정구

위탁연구기관 : 국립수산과학원 남해수산연구소

세부과제 책임자 : 김창길 (어초조사 연구)

연구원

국립수산과학원 : 김창길, 김호상, 서성호, 조재권, 최임호, 김병섭, 오
태건, 김태진, 문경훈, 김잔디, 김명화

한국해양연구원 : 명정구, 박용주

요 약

본 연구는 바다목장개발연구 중 인공어초에 관한 것으로, 주요 연구는 통영바다목장 내의 시설된 강제어초에 대한 수심대별 열화특성분석, 수심 43 m에 시설(2005년 11월 29일)된 다기능고층어초의 효과조사, 바다목장조성 관련 인공어초어장조성 기술지침서 작성 등 3가지 연구 항목으로 구성된다.

강제어초에 대한 수심대별 열화특성은 통영바다목장 내에 1999년부터 2003년까지 수심 10 m이하, 10~20 m, 20 m이상에 시설된 강제어초 각 1종에 대해 잠수관찰을 통해 분석하였다. 수심대별 열화의 특성은 잠수관찰에 의한 표면의 부식상태를 기술하고, 부착생물에 의한 부착 후 조류나 혹은 사멸에 의한 박리과정에서의 표면의 단면감소에 대해서도 관찰하였다. 다기능고층어초의 효과평가는 잠수 및 어획조사를 통해 실시하였으며, 동 자료를 토대로 현 시점에서 비용편익분석을 실시하였다. 그리고 다기능고층어초의 생산성 분석기법을 제시하였고, 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서는 통영바다목장 수행 과정에서 얻어진 경험을 바탕으로 작성하였다.

통영바다목장 내에 1999년부터 2003년까지 시설된 강제어초는 부식에 의한 단면 감소는 관찰되지 않았다. 다기능고층어초에서 어획된 어종은 조피볼락, 참돔, 말쥐치, 아귀, 문치가자미 등 17종이었고, 삼중자망에 의한 폭당 어획량은 4.6 kg이었으며, 주요 어획 종은 조피볼락과 참돔으로 이들 어종이 전체 어획량의 52.4%를 차지하였다. 다기능고층에서의 연간증산량(어획량)을 구하면, 1,452 kg이 되며, 금액으로 환산하면 연간 14,521,800 원이 된다. 이들 결과를 이용하여 비용대비효과를 산정한 결과, 사업효과는 1.41로 나타나 다기능고층어초의 투자효과가 비교적 높은 것으로 추정되었다. 다기능고층어초의 생산성 분석 기법은 외국의 자료를 기초로 하여 잠수조사와 ROV (Remotely Operated Vehicle)에 의한 조사만을 기술했다. 전자와 관련해서는 군집성의 어류에 사용되는 정점관찰법 (Stationary Visual Census)과, 개체평가에 이용되는 벨트트렌섹트(Belt Transects)법에 대해 기술하였다. 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서는 인공어초의 시설 및 관리 지침, 강제어초 제작 지침, 인공어초 비용편익분석 지침에 대해 작성하였다.

Summary

This study was carried out to assess artificial reefs constructed at the Tong-yeong marine ranching area in Korea. The study consists of three parts; the analysis of deterioration of steel reefs installed at the shallower waters than 30 m, the assessment of the effectiveness on the high-storied-multifunctional steel reef(15×15×15 m) which installed on November in 2005, and drawing up manuals of artificial reefs for the creation of the marine ranching.

The deterioration of steel reefs was assessed by only the reduction of element thickness caused by corrosion or desquamation of attached organisms. It was made with the observation of self-contained underwater breathing apparatus divers. These reefs were installed between 1999 and 2003. Meanwhile, the effectiveness on the high-storied-multifunctional steel reef was analyzed based on the amount of fish catch by experimental operations from November of 2006 to April of 2007. Its economical efficiency was assessed by the cost benefit method. Manuals of artificial reefs were drawn up based on the experience gained through the Tong-yeong marine ranching project. Also, survey methods of high-storied reefs were described.

The reduction in the element thickness of steel reefs, which installed at the shallower waters than 30m, was not observed. But it was found that some parts in the elements of reefs had red spots. The number of fish species caught by trammel gill net at the high-storied-multifunctional steel reef was 17, the dominant species were rockness fish (*Sebastes schlegeli*) and porgy (*Pagrus major*), and they formed 52.4 % of the total fish catch. The fish catch weight per a trammel gill net was 4.6 kg. Based on the fish catch data, the annual fish catch of the high-storied-multifunctional steel reef was estimated at approximately 1,452 kg. When express this value by benefit of reef, the benefit value to cost of a high-storied-multifunctional steel reef is solved at 1.41. This figure means that the economical efficiency of the reef is relatively high. Artificial reef manuals drawn up in this study include the construction of both concrete reef and steel reef, and method of cost benefit analysis. In addition, survey methods of high-storied reefs were chiefly focused on both stationary visual census and belt transect method.

목 차

요 약 문	i
Summary	ii
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	2
1. 통영바다목장 내의 시설된 어초에 대한 특성연구	2
가. 재질별(콘크리트, 강재) 시설 어초종류 분석	2
나. 바다목장 내의 수심대별 강제어초의 열화특성 분석	4
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이심에 시설된 다기능고층어초의 효과연구	4
가. 다기능고층어초의 수직, 수평 공간별 위집어종 분석	4
나. 다기능고층어초의 어획효과	4
다. 다기능고층어초에 작용하는 외력 및 투영면적 분석	5
라. 다기능고층어초의 생산성 분석기법 검토	5
3. 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서 작성	5
III. 결과 및 고찰	7
1. 통영바다목장 내의 시설된 어초에 대한 특성연구	7
가. 재질별(콘크리트, 강재) 시설 어초종류 분석	7
나. 바다목장 내의 수심대별 강제어초의 열화특성 분석	8
(1) 10 m 이하에 시설된 연약지반형강제어초	8
(2) 10~20 m 사이에 시설된 신형강제어초	9
(3) 21 m에 시설된 피라밋강제어초	10
(4) 25 m에 시설된 상자형콘크리트어초	10
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이심에 시설된 다기능고층어초의 효과연구	11
가. 다기능고층어초의 수직, 수평 공간별 위집어종 분석	11

(1) 어종수 및 어초성 분석	11
(2) 다기능고층어초에서의 잠수관찰에 의한 위집어종 분석	13
나. 다기능고층어초의 어획효과	15
(1) 어종수 및 어초성 분석	15
(2) 어획량 분석	16
(3) 비용대비 효과분석	17
다. 다기능고층어초에 작용하는 외력 및 투영면적 분석	17
라. 다기능고층어초의 생산성 분석기법 검토	17
(1) 잠수조사	18
(2) ROV(Remotely Operated Vehicle) 조사	22
3. 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서 작성	23
가. 인공어초 시설 및 관리 매뉴얼 (안)	23
나. 강제어초 제작 매뉴얼 (안)	34
다. 인공어초 비용편익분석 매뉴얼 (안)	48
(1) 어류용 인공어초의 비용편익분석	48
(2) 증식기능을 갖는 보육초 비용편익분석	53
IV. 결 론	57
1. 통영바다목장 내의 시설된 어초에 대한 특성연구	57
가. 재질별(콘크리트, 강제) 시설 어초종류 분석	57
나. 바다목장 내의 수심대별 강제어초의 열화특성 분석	57
2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이심에 시설된 다기능고층어초의 효과연구	58
가. 다기능고층어초의 수직, 수평 공간별 위집어종 분석	58
나. 다기능고층어초의 어획효과	59
다. 다기능고층어초에 작용하는 외력 및 투영면적 분석	59
라. 다기능고층어초의 생산성 분석기법 검토	59
3. 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서 작성	60

참고문헌

I. 서론

바다목장 조성의 목적은 바다의 생산력을 충분히 이용하거나 그 해역의 생산기구를 재편함으로써 어장을 종합화하고 생산의 효율화를 도모하여 대상 종의 생산력을 향상시키는 데 있다. 유용종의 생산증강을 도모하기 위해서는 먼저 그 해역에 있어서 수용력이 문제가 되며, 원칙적으로는 바다의 수용력은 시간적 측면에서 보면 변동하는 것이지만, 그때 당시의 바다의 물리적 환경과 생물 간의 경합에 의해서 포화상태로 되는 과정에서 균형을 유지하려고 한다.

따라서 그 해역에서 특정의 종을 증가시켜 새로운 바다의 생물환경을 조성하기 위해서는 인위적인 수용조건의 개량이 필요하다. 그의 대표적인 방법의 하나로는 어떤 해역에서의 시간적, 공간적 어업생산의 미이용 부분을 유효하게 이용하는 것이다. 이것에 대한 주요한 접근 방법으로는 대상해역을 적극적(직접적)으로 이용하는 방법인 자원첨가 이용형과 소극적(간접적) 이용방법인 잠재자원 이용형을 들 수 있다(日本農林技術會事務局, 1989). 전자는 미이용 자원을 증강하고자 할 경우에는 현재의 연쇄계의 수용력 안에서 자원을 투입(종묘방류)한다든지, 수용력의 일부를 공간적으로 구획하고 먹이를 투입하여 양식종을 육성(양식)하는 방법을 말한다. 한편, 후자는 현행 연쇄계를 인위적 수단에 의해서 확대한다든지, 혹은 기초생산력을 증강함으로써 간접적으로 자원의 증가를 도모하는 방법을 말한다. 하지만, 어떤 방법으로 대상해역을 개발하여 이용할 것인가에 대한 것은 해역마다 특성이 다르기 때문에 일률적으로 적용하기는 어려우며, 대상해역을 잘 파악하여 그 해역의 특성에 적합한 어장조성 개발방법을 도입해야 한다(김 등, 1999;2004).

바다목장조성은 앞서 언급한 바와 같이 자원첨가 이용형과 잠재자원 이용형에 대해 어떤 수단을 통하여 개발할 것이냐로 모아질 수 있으며, 수단에 대한 기본 틀로는 인공어초에 의한 서식기반조성, 어구 및 어기 제한 등 어업관리, 환경개선, 방류에 의한 자원 첨가 등 4가지의 요소기술을 들 수 있다. 이들의 수단은 해역의 특성에 따라 한개 이상의 요소기술을 유기적으로 복합시켜 이용된다(김 등, 2006).

본 연구는 인공어초에 관한 것으로서는 2006년도에는 통영바다목장 내의 시설된 강제어초에 대한 어초시설 수심대별 열화특성, 2005년 11월 29일에 수심 43 m에 시설된 다기능고층어초의 효과조사, 바다목장조성 관련 인공어초어장조성 기술지침서 작성 등 3가지 항목에 대해 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 통영바다목장 내의 시설된 어초에 대한 특성연구

가. 재질별(콘크리트, 강제) 시설 어초종류 분석

통영바다목장 내에 1999년부터 2003년까지 시설된 연구어초에 대해 구조형태를 분석하였다(표 1). 구조형태는 면구조와 테구조로 분류하였으며, 전자는 공극율이 80%이하, 후자는 80%이상인 구조를 나타낸다(Kim, 2001). 이와 함께 어초의 높이에 대해서도 분석하였다.

표 1. 통영바다목장 내에 시설된 연구어초의 시설 위치

어초 시설 지역	어초 종류 (규격)	시설 수심 (m)	시설 년도	시설 수량 (개)
미륵도 수암산남단	피라밋강제어초(10×10×7 m)	36~41	'03.12	4
봉도(쑥섬) 북동쪽	행동시험용강제어초(10×10×2 m)	12	'02.03	4
봉도(쑥섬) 남쪽	피라밋강제어초(10×10×7 m)	30~34	'03.12	3
민복말 서쪽	연약지반형강제어초 (10×10×2 m)	16~24	'02.03	6
곤리도 남서단	신형강제어초(Φ12.5×4 m, Φ12.8×6 m, Φ13.5×9 m)	14	'02.12	4
곤리도 남단	강제해조용어초(10×10×2 m)	6	'03.03	1
	연안다목적어초(2×2×2 m)		'03.03	20
곤리도 남동단	연약지반형강제어초(10×10×2 m)	30	'03.01	1
	육성용강제어초(10×10×7 m)		'02.12	1
곤리도 부도	상자형콘크리트어초(3×3×3 m)	15~25	'00.10	25
부도 동북쪽	2단상자형강제어초(10×10×10 m)	36	'01.10	2
부도 남단	강선+피라밋강제어초(6×24×10 m)	40	'03.12	2
대장두도 북쪽	목선어초(26×16×6 m)	25	'00.01	2척
			'00.01	1척
	자연석	10	'02.03	500m ³
	TTP			60
	연약지반형강제어초(10×10×2 m)	12	'99.12	1
	신형강제어초(소)	16	'02.12	1

표 1. 계속

어초 시설 지역	어초 종류 (규격)	시설 수심 (m)	시설 년도	시설 수량 (개)
대, 소장두도 사이	연안다목적어초(2×2×2 m)	7	'01.12	10
		8	'02.04	10
	인조해조장어초(10×7×3 m)	9	'01.02	4
소장두도	목선쌍둥어초	18	'00.01	1
소장두도 남쪽	사각형어초(2×2×2 m)	18	'00.10	200
소장두도 측도 사이	상자형강제어초(10×10×10 m)	25	'99.12	1
	조립식사각어초(6×8×6 m)	25	'99.12	1
	로프-강제복합어초(10×8×2 m)	25	'02.03	1
측도 서단	로프-강제복합어초(10×8×2 m)	10	'02.03	1
측도 남동단	연약지반용강제어초(10×10×2 m)		'02.12	2
	2단상자형강제어초(10×10×10 m)	35	'03.12	2
	원형강제어초	15		
당정말 북쪽	어패류용세라믹어초(2×2×2 m)	6	'03.12	14
당정말 전방	강제해조용어초 (10×10×2.5 m)	5	'03.12	3
저도 북서단	대형사각구조물	13		
	피라밋강제어초(10×10×7 m)	21	'03.12	3
저도	연약지반형강제어초(10×10×2 m)		'02.12	2
			'02.12	2
저도 남동단	연안다목적어초(2×2×2 m)	5	'02.04	10
저도 등대	인조해조장(10×10×1 m)	12	'98.11	1
	인조해조장(5×5×0.8 m)		'98.12	1
	PP조립형(상자형)어초(10×7×3 m)		'98.11	1
	PP조립형(커텐형)어초(10×7×3 m)		'99.12	2
만지도 남단	육성용강제어초(10×10×7 m)	22	'03.01	2
연대도 남단	2단상자형어초(10×10×10 m)	30	'02.03	1
	연약지반형강제어초10×10×2 m)		'02.12	2
	육성용강제어초(10×10×7 m)		'03.01	4
내부지도 남단	탄약운반선+2단상자형어초(3기)	41	'02.11	1

나. 바다목장 내의 수심대별 강제어초의 열화특성 분석

통영바다목장 내에 시설된 어초 중 수심대별로 10 m이하, 10~20 m, 20 m이상에 시설된 강제어초 각 1종에 대해 2006년 11월 27일부터 29일까지 잠수관찰을 통해 열화의 특성을 분석하였다. 수심대별 열화의 특성은 잠수관찰에 의한 표면의 부식상태를 기술하고, 부착생물에 의한 부착 후 조류나 혹은 사멸에 의한 박리과정에서의 표면의 단면감소에 대해서도 관찰하였다. 이와 함께 콘크리트어초 1종에 대해서도 관찰하였다.

표 2. 통영바다목장 내에 시설된 연구용 어초 중 열화특성 분석에 사용된 어초

어초 시설 지역	어초종류 (규격)	시설 수심 (m)	시설 년도	시설 수량 (개)	단위어초 위치 확인좌표 (WGS-84)
민북말 서쪽	연약지반형강제어초 (10×10×2 m)	6	'02.03	6	N34°46.714' E128°23.126' (해양연구원 가두리부근)
곤리도 남서단	신형강제어초 (Φ13.5×9 m)	19	'02.12	4	N34°46.469' E128°21.656'
저도 북서단	피라밋강제어초 (10×10×7 m)	21	'03.12	3	N34°45.350' E128°23.621' (해양연구원 가두리 내)
곤리도 부도	상자형콘크리트어초 (3×3×3 m)	23	'00.10	25	N34°46.428' E128°22.267'

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이심에 시설된 다기능고층어초의 효과연구

가. 다기능고층어초의 수직, 수평 공간별 위집어종 분석

2005년 11월 29일 통영바다목장 내의 수심 43 m에 시설된 다기능고층어초(그림 1)에 대해 어류의 수직적, 수평적 위집형태 및 위집어종을 분석하였다. 어류의 수직적인 분포와 관련해서는 어초의 저면에서 15m의 높이까지 어류가 위집하는지, 그리고 수평분포와 관련해서는 어초의 가장자리 부분에서 얼마만큼 떨어진 위치까지 모여 드는지에 대해 각각 관찰하였다. 조사는 2006년 11월 28일과 2007년 2월 24일, 4월 27일에 각각 실시하였다.

나. 다기능고층어초의 어획효과

다기능고층어초에서 어획량 조사는 삼중자망에 의해 실시하였으며, 어획된 어종에 대해 어초성을 분류하였다. 이와 함께 체장조성도 비시설지에서 어획된 것과 비교하였다. 어획조사는 2006년 11월 28일, 2007년 2월 28일, 4월 26일에 각각 실시하였으며, 사용 폭

수는 모두 12폭이다.

어류용 어초의 비용대비 효과(비용편익효과)는 어업생산향상효과의 편익액, 어업노동 개선효과에 의한 편익액, 어업경비감소효과에 의한 편익액 등을 합산하여 산정하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서는 어업생산향상효과의 편익액 만을 이용하였으며, 고층 다기능어초가 시설한지 1년밖에 지나지 않았기 때문에 현 시점에서의 비용대비 효과를 분석하였다. 연간 어획량은 다음 식으로 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{중산량} &= \text{어종별 CPUE (어초어장-일반어장) (kg/어구 사용폭수)} \\ &\quad \times \text{척당 노력량 (어구 사용폭수/척)} \times \text{조업일수 (일/년)} \times \text{조업척수 (척/일)} \end{aligned}$$

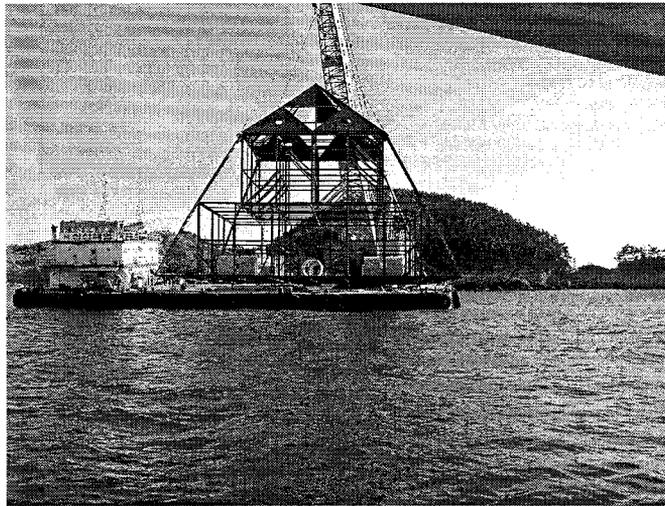


그림 1. 다기능고층어초 (15×15×15 m).

다. 다기능고층어초에 작용하는 외력 및 투영면적 분석

인공어초에 작용하는 외력은 주로 유체력(F_0)을 들 수 있으나, 강제고층어초는 테구조로 제작되기 때문에 전도는 유체력 보다는 계류력에 의해서 일어나는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 가상의 계류력을 이용하여 아래 식(2-1)에 의거 다기능고층어초에 대한 전도의 한계 값을 분석하였다. 그리고 어초의 후류역을 고려한 배치거리는 판에 흐름이 부딪칠 경우 流影경계가 自由流線으로 한 포텐셜이론을 이용하여 구하였다(正田 등, 1970).

$$W > \frac{F_0}{l_w \left(1 - \frac{\rho}{\sigma}\right)} \times S_{F2} \quad (2-1)$$

여기서,

W : 어초의 공중중량, l_w : 어초의 회전 中心으로부터 중심까지의 수평거리, ρ : 해수의 밀도, σ : 어초의 밀도, S_{F2} : 전도에 대한 안전율(1.5)

라. 다기능고층어초의 생산성 분석기법 검토

다가능고층어초의 생산성 분석 기법은 외국의 자료를 기초로 하여, 잠수조사와 ROV에 의한 조사만을 기술했다(日本水産廳, 2005). 전자와 관련해서는 군집성의 어류에 사용되는 정점관찰법(Stationary Visual Census)과, 개체평가에 이용되는 벨트트렌섹트(Belt Transects) 법에 대해 기술하였다. 여러 방법 중 상기 2가지만 제시한 것은 가장 널리 사용할 수 있는 방법이라 생각했기 때문이다.

3. 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서 작성

바다목장 조성 관련 인공어초어장조성 기술지침서는 금후 새로운 바다목장을 조성함에 있어 체계적으로 수행하기 위해 통영바다목장 수행 과정에서 얻어진 경험을 바탕으로 작성하였다. 기술지침서는 인공어초의 시설 및 관리 지침(안), 강제어초 제작 지침(안), 인공어초 비용편익분석 지침(안)으로 구성된다. 이들 지침(안)은 기존 지침 등을 참고로 하여 작성하였으며, 강제어초 제작 지침(안), 인공어초 비용편익분석 지침(안)은 외국 자료를 참고로 하여 기술하였다(日本水産廳, 2005; 日本鋼製具樂部, 1996). 지침(안) 구성과 관련해서는 인공어초의 시설 및 관리 지침(안)의 경우, 투입적지, 구조형태, 제작, 시설배치, 사후관리 등이 포함되어 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 통영바다목장 내의 시설된 어초에 대한 특성연구

가. 재질별 (콘크리트, 강재) 시설 어초종류 분석

통영바다목장 내에 1999년부터 2003년까지 시설된 연구어초 25종에 대한 재질별 시설율은 강재어초가 17종(68%)으로 가장 많고, 그 다음은 선박어초 3종(12%), 콘크리트어초 2종(8%)순 이다(그림 2). 이들 연구용 어초를 구조 형태별로 분석해 보면, 테구조가 대부분을 차지하고, 면구조는 약 20 %정도로 나타났는데, 테구조가 대부분을 차지한 것은 강재어초의 시설비율이 높기 때문이다. 한편, 연구어초 중 치수(규격)가 확실한 17종에 대한 어초의 높이 범위는 2.0~10.0 m이며, 높이별 비율은 2.0~3.0 m의 어초가 52.9%(9종)로 가장 많았고, 그 다음은 6, 7, 10 m의 것으로 각각 11.8%(2종)를 차지하였다(그림 3). 어초의 높이는 중요한 설계요인이며, 개방된 해역에서 주축성 어종이나 보목표성 어종의 경우 어초 높이가 5 m 이하의 것에서 위집량이 높은 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2006). 금회 조사에서는 어초의 높이에 대한 어류의 수직분포는 조사되지 않았지만, 통영바다목장 해역과 같이 섬주위에 시설된 어초에서도 개방된 해역에서와 같이 동일한 경향의 수직적 분포를 나타낼지에 대해서는 금후 별도의 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

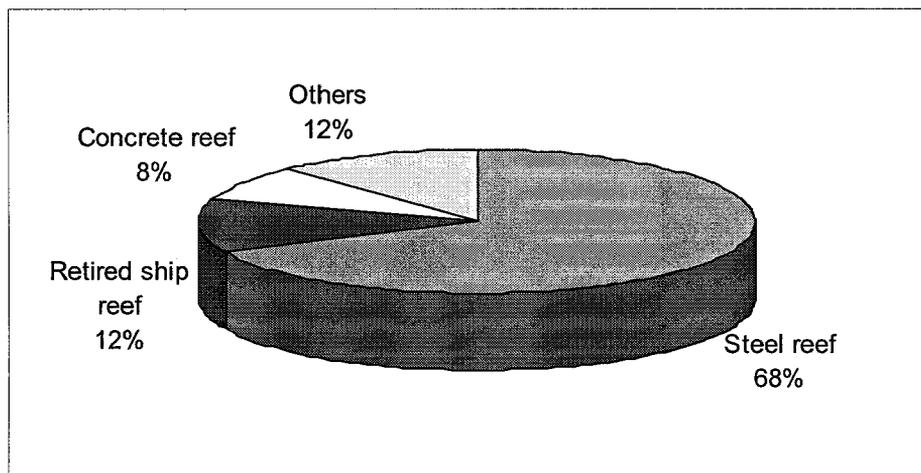


그림 2. 통영바다목장 내에 1999년도부터 2003년까지 시설된 연구용 어초의 종류별 시설 비율.

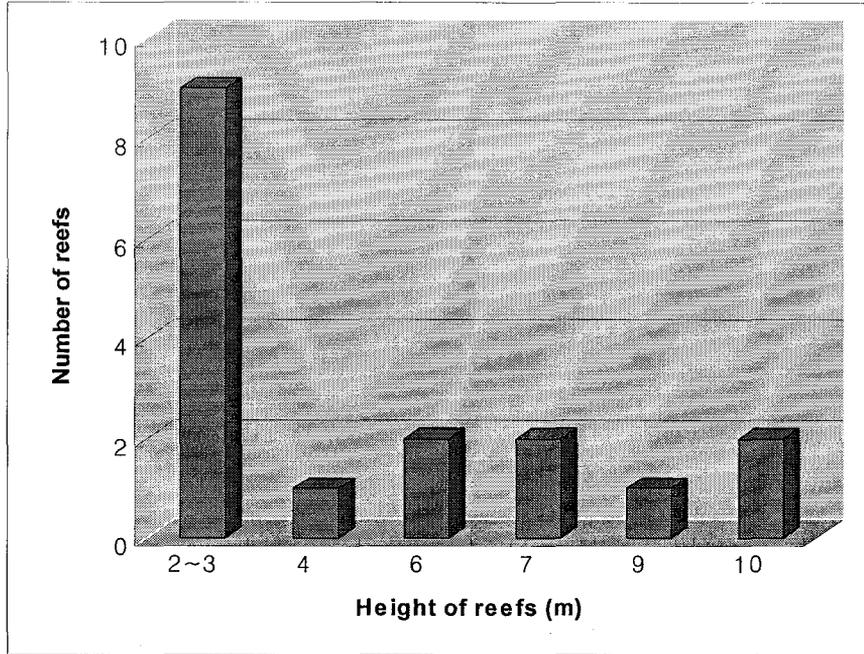


그림 3. 통영바다목장 내에 1999년도부터 2003년까지 시설된 연구용 어초의 높이 분포 비율.

나. 바다목장 내의 수심대별 강제어초의 열화특성 분석

수심대별 강제어초의 내구 년수의 설정을 위한 자료축적을 위해 통영바다목장 내에 시설된 어초 중 수심대별로 10 m이하, 10~20 m, 20 m 이상에 시설된 강제어초 각 1종에 대해 각각 잠수하여 열화의 특성을 분석하였다. 그의 결과는 다음과 같다.

(1) 10 m 이하에 시설된 연약지반형강제어초

연약지반형강제어초(그림 4)는 2002년 3월에 수심 6 m의 곳에 시설되었다. 잠수조사

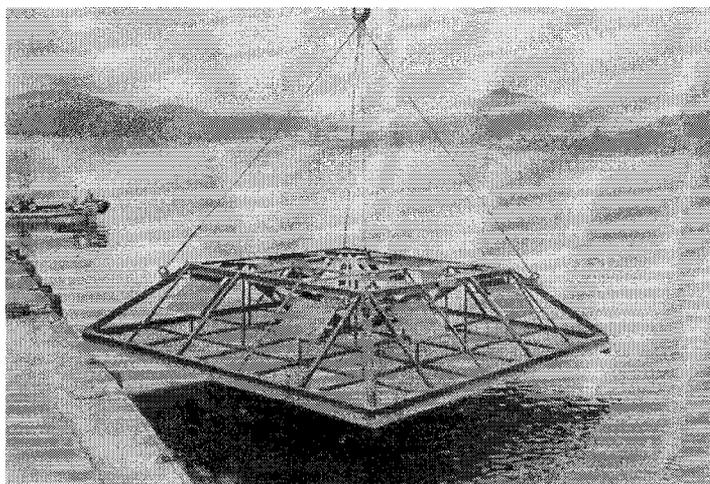


그림 4. 연약지반형강제어초 (10×10×2 m).

결과, 어초의 전면은 부착생물이 많이 부착되어 있었으며, 꺾었을 때 표면은 약간 검은 색을 띄고 있어 부식은 되지 않은 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 부착생물의 피복으로 인해 강제의 표면에 해수로부터 산소가 원활히 공급되지 못했기 때문으로 추정된다. 어초의 안쪽(내부)의 경우도 어초의 전면과 같은 경향을 나타냈으나, 일부 L형강 모서리 부분은 붉은 색을 띄는 부분이 있었는데 이러한 현상은 모서리 부분에서 유체의 흐름 등에 의한 활발한 산소공급 등의 영향에 기인한 것으로 판단된다.

어초의 수직적인 열화와 관련해서는 어초의 윗부분의 경우, 윗판 하부에서도 군데군데 붉은 색이 관찰되었으며, 판재의 표면은 얇은 종이모양으로 결이 생겨 있었었다. 한편, 어초의 저면의 바닥판재의 경우 부착생물이 떨어져 나간부분에는 붉은 색을 띄고 있었으며, 어초내부의 바닥 내부에서도 이런 현상이 관찰되었다.

(2) 10~20 m 사이에 시설된 신형강제어초

신형강제어초(그림 5)는 2002년 12월에 수심 19 m의 곳에 시설되었다. 신형강제어초는 테구조이므로 열화의 특성은 수직적으로 분석하였다. 윗 부분의 경우, 패각질, 부니로 덮여 있었으며, 부착생물을 칼 등으로 떼어 냈을 때, 강제의 표면부분이 부착생물의 부착면과 함께 일부 박리되었다. 중간 부분의 경우, 어초의 중앙부에 위치한 H 빔은 표면부근에 군데 군데 붉은색을 띄고 있었으며, 손으로 꺾었을 때, 붉은 색의 물질이 물속으로 현탁되었다. 이러한 현상은 모서리 부분에서 많았다. 중간부분에 위치한 원형강봉의 표면도 부착생물이 박리된 곳은 붉은 색을 띄고 있었으며, L형강 모서리 부분도 H 빔에서와 같이 붉은 색을 띄는 부분이 관찰되었다. 어초의 저면은 침하가 약간 있었으며, 저면 옆부분의 L형강, 원형강봉, H 빔에서도 부착생물이 떨어져 나간부분은 붉은 색을 띄고 있었다.

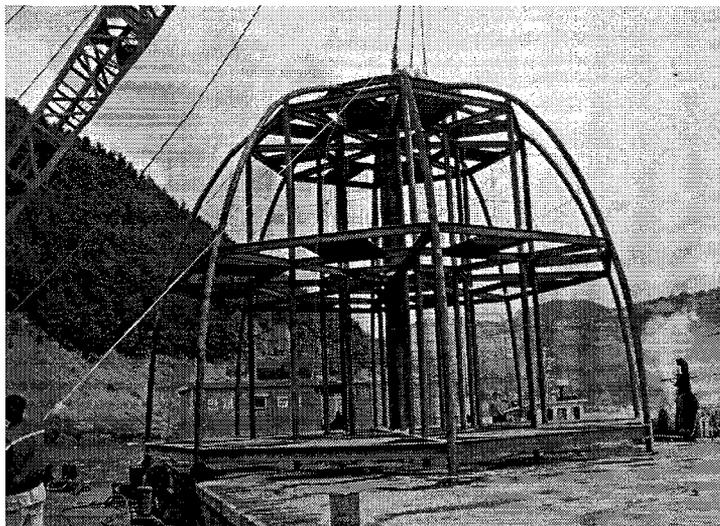


그림 5. 신형강제어초($\Phi 12.5 \times 9$ m).

(3) 21 m에 시설된 피라밋강제어초

태구조인 피라밋강제어초(그림 6)는 2003년 12월에 시설되었다. 잠수조사 결과, 윗부분은 패각질과 부니로 덮여 있었으며, 평판부분은 붉은 색을 띠고 있는 부분이 많았다.

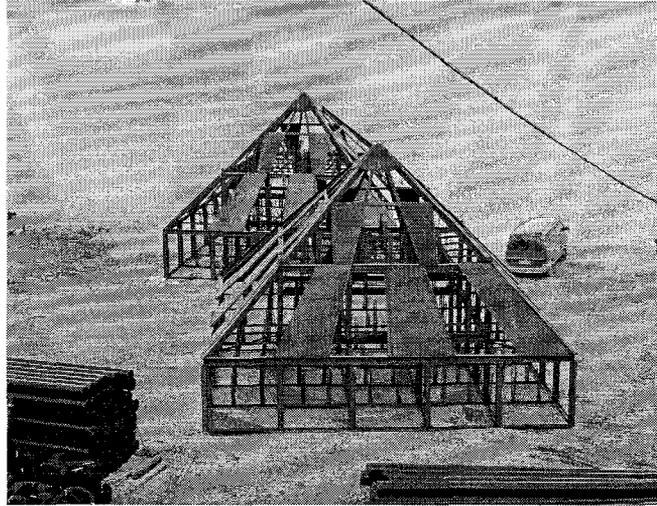


그림 6. 피라밋강제어초(10×10×7 m).

중간 부분도 판부분은 붉은 색을 띠고 있는 부분이 많았으며, 표면을 긁었을 때 붉은 물질이 현탁되어 나왔다. 부착생물이 단단히 부착되어 있는 곳을 강제로 긁었을 때는 강판 표면은 약간 검은색을 띠어 부식을 일어나지 않은 것으로 판단되었다. 부착생물이 살아 있을 때는 부식은 적은 것으로 판단되나, 사멸하게 되면 부분적으로 부착생물에 의한 산소의 소비가 줄어들어 부식이 증가되지 않을 까 추측된다. 저면은 침하가 약간 있었으며, 저면 옆부분의 L형강도 부착생물이 떨어져 나간부분은 붉은 색을 띠고 있었다.

(4) 25 m에 시설된 상자형콘크리트어초

상자형콘크리트어초(그림 7)는 2000년 10월에 시설되었다. 잠수관찰 결과, 어초 저면에서 콘크리트 표면의 균열 등은 관찰되지 않았고, 어초 표면은 부착생물로 피복되어 있었다. 어초의 중간부분도 어초의 저면에서와 같이 콘크리트 표면의 균열 등은 관찰되지 않았고, 어초의 표면은 부착생물로 피복되어 있었다. 한편, 어초 윗부분도 어초의 저면, 중간부분에서와 같이 콘크리트 표면의 균열 등은 관찰되지 않았고, 어초 표면은 부착생물로 피복되어 있었다.

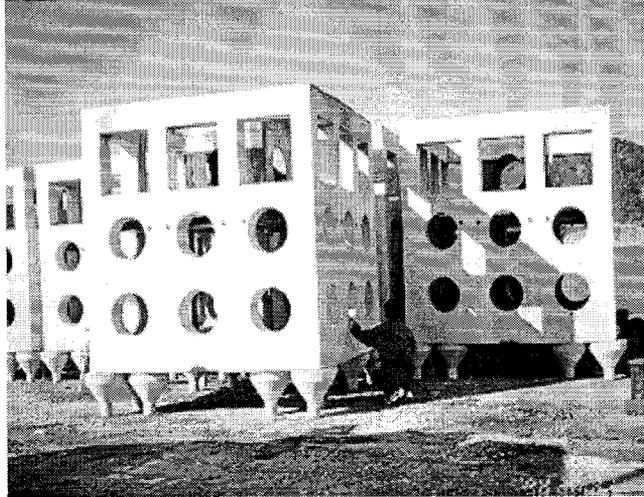


그림 7. 상자형 어초 (3×3×3 m).

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이심에 시설된 다기능고층어초의 효과연구 가. 다기능고층어초의 수직, 수평 공간별 위집어종 분석

다기능고층어초의 수직, 수평 공간별 위집어종 분석은 다기능고층어초가 당초 설계대로 각 어초의 위치에 어류가 모여드는지를 검토하기 위해 실시되었다.

(1) 다기능고층어초의 구조형태

본 연구에서 사용된 다기능고층어초는 그 높이가 15 m의 것으로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 강재나 철재 등을 사용하여 어초를 피라밋형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임과 중층프레임 및 하층프레임으로 3원화시킴으로서, 하층프레임에는 조피볼락, 쥐노래미, 쏘뱅이, 넙치 등과 같은 주축성 어류를 위한 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔, 돌돔, 감성돔, 농어 등과 같은 보목표성 어류를 위한 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다. 또한 상층프레임에는 방어, 삼치, 고등어, 전갱이 등과 같은 회유성 어류를 위한 체류공간을 제공할 수 있도록 설계하였다(그림 8).

그림 7에서와 같이 다기능성 고층어초는 강재(鋼材)의 가로프레임(2)과 세로프레임(3) 및 수직프레임(4)을 격자 형태로 교차시킴과 동시에, 각각의 프레임(2, 3, 4)을 수직 및 수평보강살(5, 6)로 연결하여 그 전체적인 형상이 피라밋 모양으로 이루어지는 프레임 구조물로서의 인공어초(1)를 나타내고 있다. 여러 층으로 구성된 층상공간은 정착성 어류의 서식 및 회유성 어류의 체류에 적합하도록 설계되어 있고, 프레임 구조 및 차단판(31, 41, 54)에 의한 면구조를 적절히 조합시켜 어류의 서식공간과 풍부한 음영을 갖도록 하였다.

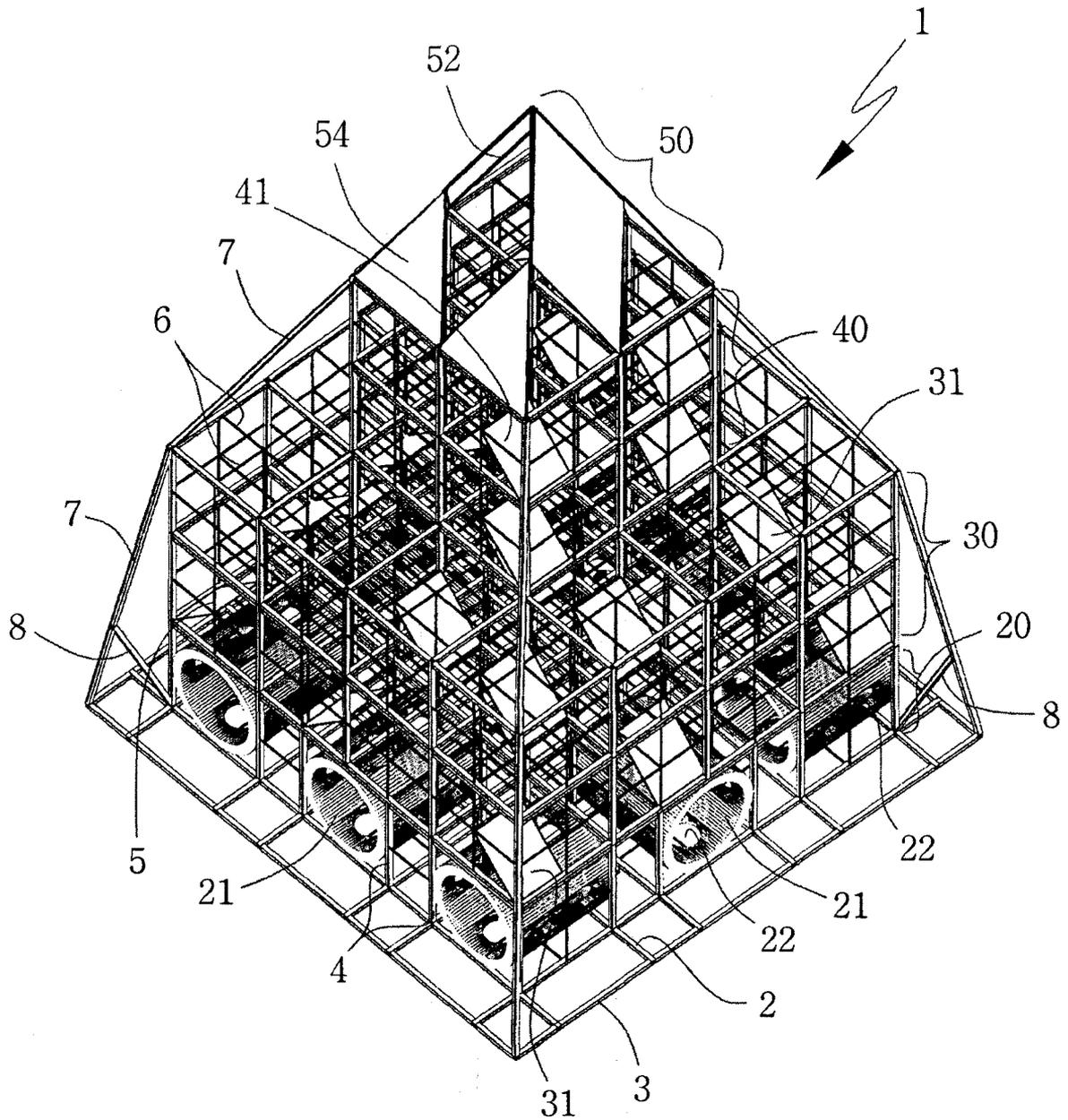


그림 8. 다기능고층어초의 형상 및 각 부분의 명칭.

또한, 하층프레임(20)의 가장자리 측에는 이동구멍(22)이 형성된 통로관(흡관, 21)을 삽입 설치하여 주축성 어류의 서식에 적합하도록 하였다. 그리고 제 1 및 제 2 중층프레임(30, 40)에는 각 층마다 차단판(31, 41)과 사재(斜材)를 적절히 조합시켜 음영과 와류발생을 풍부하게 하였다. 특히, 상층프레임(50)은 사각뿔의 형상을 가지도록 한 상태에서 지붕을 형성하는 부분에 차단판(54)을 교호(交互)로 설치하여 차광 및 와류의 발생을 극대화되도록 하였다.

(2) 다기능고층어초에서의 잠수관찰에 의한 위집어종 분석

다기능고층어초(그림 1)에서의 잠수조사는 2006년 11월 28일과 2007년 2월 24일, 4월 27일에 각각 조사하였다. 각 일자별 조사결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) 2006년 11월 28일 조사

어초의 시야는 10~15 m부분(수심 28~33 m)에서 약 50 cm정도였으며, 10 m이하 부분(수심 33~43 m)은 30 cm 정도로 아주 낮았다. 잠수시간은 1, 2차 합하여 약 20분 정도였으며, 잠수동안 어초에 위집한 어류는 조피볼락 2미만을 발견하였다. 따라서 2차에 걸쳐 잠수를 실시하였으나, 모여드는 어류는 관찰되지 않았다.

다기능고층어초의 각 부분별 어류 위집을 보면, 어초 윗부분에 해당하는 10~15 m(수심 28~33 m)의 어초지붕부분에 약 20 cm 정도의 조피볼락이 유명하고 있었다. 그리고 어초의 5~10 m(수심 33~38 m)의 중간부분과 어초의 0~5 m(수심 38~43 m)의 아래 부분에 위치하는 H빔, L형강, 경사강판의 부분에서는 위집된 어류는 관찰되지 않았다.

(나) 2007년 2월 24일 조사

입수 후 육상과 잠수자 간의 마이크로 폰과 비디오 영상상태를 확인하면서 다기능고층어초의 저층(0~6 m)에 하강하였다. 하강 후 우측으로 이동하면서 어류위집을 관찰하였으며, 흙관 주위에서 조피볼락 2미를 발견(14:15)하였다. 시야는 1.5 m정도였다. 어초의 중층부분(6~12 m)으로 이동 후(14:16) 경사판에 부착생물을 확인하였으며, H빔이 경사판재 보다 부착생물의 서식량이 많은 것으로 관찰되었다. 경사판 안쪽과 바깥쪽 간의 부착생물의 차이는 거의 없었으며, 경사판의 표면에 빨간 물질이 관찰되었고, 14:30분 경에 경사판 안쪽에서 쥐놀래미 1미가 유명하며 지나갔으며, 시야는 1 m 정도였다. 어초의 지붕부분에 해당하는 상층(12~15 m)부분은 지붕부분 전체에 따게비가 부착해 있고, 불가사리도 비교적 많이 서식하고 있음이 확인되었다. 14:36분경에 지붕 안쪽으로 이동 후, 14:39분경에 지붕 안쪽의 바로 밑에서 쥐놀래미 1미를 확인하였다. 시야는 1.5 m 정도였다.

(다) 2007년 4월 27일 조사

2007년 2월 24일 조사에서와 같이 입수 후 육상과 잠수자 간의 마이크로 폰과 비디오 영상상태를 확인(12:19)하면서 12:30분경에 어초의 저면(수심 43 m)에 하강하여 저면에서 불가사리를 발견하였다. 어초의 저면을 유명하면서 세굴을 확인하였으나 관찰되지 않았다. 12:33분경에 흙관 저면에서 볼락, 조피볼락(2미), 쭈기미, 그리고 흙관 윗부분에서 조피볼락 2미, 흙관 내부에서 쥐놀래미 1미가 각각 유명하고 있었으며, 주로 조피볼락 등 어류는 흙관 주위 약 1 m이내에서 관찰되었다. 시야는 2 m 정도였다. 12:44분경에 흙관

이 없는 중앙 부분으로 이동하였으며, 흠관이 없는 곳의 부재주위에서는 어류가 관찰되지 않았다. 12:47분 경에 저면 반대편(북서쪽)에 있는 다른 흠관으로 이동하여 관찰한 결과, 흠관 내부에서 조피볼락 3미(약 20 cm), 흠관 외부의 1 m이내의 주위에서 조피볼락 8미(30~50 cm)정도가 위집해 있었으며, 흠관 바로 위에서 볼락, 황해볼락이 무리(13미 정도 약 20 cm)를 지어 유명하고 있었다. 12:54분경에 어초 위(저면으로부터 약 3 m)에 경사판이 부착되어 있지 않은 곳으로 이동하여 부재 주위에 모여드는 어류의 여부를 관찰하였으나 확인되지 않았다. 13:01분경에 경사판이 있는 곳(저면으로부터 4 m)으로 상승하여 경사판 주위를 돌면서 어류위집 유무를 확인한 결과, 경사판 위에 배도라치 1미가 정좌하여 있었다. 경사판 외부에는 따개비가 많이 부착해 있었고, 그 외 말미잘, 히드라류도 확인되었다. 부착생물은 바깥쪽보다 안쪽에서 적었고, 또한 부식도 확인되었다. 시야는 3 m 정도였다. 13:10분경에 어초 외부로 이동하여 어초 주위에 모여든 어류를 확인하였으나, 관찰되지 않았다. 13:14분경에 어초 지붕 부분(저면으로부터 12 m)의 안쪽으로 이동, 지붕 부분에 말미잘, 히드라류가 많이 부착해 있음을 확인하였다. 13:16분경에 지붕 밑 H빔에서 배도라치 1미가 정좌해 있는 것이 확인되었다. 시야는 2~3 m 정도였다.

(라) 다기능고층어초의 어초구조와 위집 어류상 분석

다기능고층어초의 구조는 어초에 반응하는 3가지 형의 모든 어류 즉, 주축성 어류, 보목표성 어류, 회유성 어류 등을 1개의 어초에서 모두 위집시킬 수 있도록 설계되었다. 보다 구체적으로 어초구조를 분석해 보면, 0~3 m 정도의 저면에는 직경이 2.5 m 정도의 흠관을 설치하여 조피볼락과 같은 주축성 어류의 위집, 그리고 5~10 m 부분은 H빔과 L 형강 등의 테구조와 면구조인 경사판을 적절히 조합하여 참돔, 감성돔 등과 같은 보목표성 어종의 위집, 10~15 m 부분은 전갱이 등 회유성 어종의 체류에 적합하도록 고안되었다. 또한 어초의 저면으로부터 3~5 m 부분에는 단지 H빔과 L 형강 등의 테구조 만으로 구성되도록 하였다. 이것은 주축성 어종의 경우 콘크리트 어초에 대한 수직분포는 5 m이내에서 많이 모여든다는 연구결과(Kim et al., 2006)에 대해 콘크리트와 강재 구조를 혼합한 어초의 경우에서도 콘크리트 어초의 단독시설에서와 같은 경향을 나타내지는 지를 확인하기 위해서였다.

조사는 앞에서 언급한 바와 같이 시기를 달리하여 3회에 걸쳐 실시하였다. 자료 축적이 많지 않아 경향을 단정지어 기술하기는 어려우나, 3회의 조사만으로 분석해 보면, 주축성 어류는 흠관과 같은 면이 많은 구조에 주로 모여들며, 수직적인 분포도 면구조의 높이(직경)에 의존한다고 추측된다. 또한 수평적 분포에 대해서도 조피볼락 등은 흠관의 내부 혹은 흠관으로부터 1 m이내에 위집함이 관찰되었다. 이것은 주축성의 어종의 경우 구조물에 접촉시키려는 본능에 기인한 것이 아닐까 추측된다. 이와 같은 현상은 수심이 다를 경우, 그리고 구조물의 크기가 다를 경우도 금회 조사에서와 같이 동일

한 경향을 나타낼지에 대해 연구할 필요가 있다고 생각된다. 한편 어초의 5~10 m 부분에서 어류의 위집은 관찰되지 않았다. 참돔이나 감성돔 등 보목표성 어류의 경우 어초에 위집하는 주요 목적은 먹이의 섭취나 이동 중에 휴식에 있다고 알려져 있다(日本新潟縣水産試験場, 1985). 본 어초의 경우 먹이생물의 부착서식을 고려하여 테구조에 강판을 부착하여 부착생물 등의 먹이생물의 공급을 고려하였고, 강판을 부착함에 있어서 약 45°정도의 대각선 방향으로 설치하여 흐름을 차단하도록 하여 후류역을 증대시켜 휴식장의 역할을 크게 하였다. 그러나 금회 잠수조사에서 참돔 등의 위집이 확인되지 않았는데, 이것은 어초가 시설된 곳이 참돔의 서식에 적당하지 않은 곳인지, 그렇지 않으면 취각이 발달된 참돔의 경우, 재질에 대한 선택성을 갖는지 등 여러 요인을 생각할 수 있다. 참돔 서식과 관련하여 삼중자망에 의한 어획조사에서 어획된 점을 감안하면 어초의 시설위치는 참돔의 서식지임을 알 수 있으며, 재질의 선택성과 관련해서는 어류의 경우 재질에 대한 선택성은 없다고 알려져 있다. 그러나 후자와 관련해서는 시공 시에 부식 등의 방지책의 하나로 페인트를 칠한 경우가 있기 때문에 취각에 대한 영향도 배제할 수 없다고 생각된다. 이에 대해서도 금후 연구 있어야 될 것으로 생각된다. 어초의 10~15 m 부분에서도 전갱이 등 회유성 어종은 관찰되지 않았다. 이에 대한 주요 원인으로서는 조사시기의 적절성, 시설 장소 등의 영향을 고려할 수 있는데 후자와 관련해서는 어초의 시설수심이 43 m 정도로 깊다할지라도 통영바다목장이 내만에 위치해 있고, 또한 섬과 섬 사이에 위치한 곳에 시설되어 회유성 어종은 기대할 수 없었기 때문이라 생각된다.

본 어초의 시설 위치와 관련하여 주요 목적 중의 하나는 수심 43 m의 깊이에 어초를 시설할 경우 조피볼락 등이 어초에서 월동을 하는지에 대한 구명이었다. 조사결과 2월 중에도 조피볼락은 어초에 위집함이 확인되었으며, 위집된 어류의 크기는 약 40 cm 이하였다.

나. 다기능고층어초의 어획효과

(1) 어종 수 및 어초성 분석

다기능고층어초에서 어획된 어종은 조피볼락, 넙치, 볼볼락, 참돔, 말쥐치, 곰치, 참가자미 등 17종이었고, 이들 어종의 어초에 대한 반응형태를 주축성(I형), 보목표성(II형), 회유성 어류(III형) 등 3형으로 분류하면, 주축성 어종은 조피볼락, 넙치 등 2종이었고, 보목표성 어종은 참돔, 볼볼락, 말쥐치 등 6종이었으며, 어초에 반응하는 형태가 일정치 않은 기타 어종도 아귀, 문치가자미 등 9종이나 되었다(표 3). 한편, 회유성 어종은 어획되지 않았는데 그의 주요 원인으로서는 어획조사기간이 11월에서 익년 4월로 동절기에 해당하고, 사용어구가 삼중자망으로 주로 주축성 및 보목표 어류를 대상으로 하기 때문이라고 생각된다. 금후 하계에 어획조사를 실시하여 당초 어초의 설계대로 회유성 어류의 위집에도

효과가 있는지에 대해서는 별도의 연구가 있어야 될 것으로 생각된다.

표 3. 다기능고층어초에서 삼중자망에 의한 폭당 어획량 및 개체수

어류의 반응형태 (어초성)	어종 명	학명	생체량(g)		개체수		전장 범위(cm)	
			어초구	비교구	어초구	비교구	어초구	비교구
I	조피볼락	<i>Sebastes schlegeli</i>	1709.4	779.5	4.3	2.2	17.0~ 39.0	17.4~ 34.5
	넙치	<i>Paralichthys olivaceus</i>	216.7	0.0	0.3	0.0	32.5~ 46.0	
II	참 돔	<i>Pagrus major</i>	677.1	16.3	1.3	0.1	14.2~ 41.0	
	볼볼락	<i>Sebastes thompsoni</i>	15.8	0.0	0.2	0.0	18.0~ 19.0	
	쌍동가리	<i>Parapercis sexfasciata</i>	37.3	40.8	0.3	0.4	18.0~ 23.0	18.5~ 21.0
	말쥐치	<i>Thamnaconus fasciatus</i>	58.3	0.0	0.1	0.0	34.5	
	쥐치	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	3.3	0.0	0.1	0.0	12.7	
	달강어	<i>Lepidotrigla microptera</i>	9.7	0.0	0.1	0.0	22.0	
기타	문치가자미	<i>Limanda yokohamae</i>	290.0	59.2	0.8	0.3	15.0~ 36.0	26.5~ 30.0
	노랑가오리	<i>Dasyatis akajei</i>	360.0	0.0	1.1	0.0	19.0~ 26.0	
	도다리	<i>Pleuronichthys cornutus</i>	393.0	118.7	1.0	0.3	25.2~ 32.3	28.3~ 35.0
	성대	<i>Chelidonichthys spinosus</i>	18.3	0.0	0.1	0.0	28.5	
	아귀	<i>Lophiomus setigerus</i>	373.3	137.5	0.2	0.1	50.0~ 55.0	50.5
	장갱이	<i>Stichaeus grigorjewi</i>	2.0	187.1	0.1	0.4	10.0	41.0~ 47.0
	참서대	<i>Cynoglossus joyneri</i>	8.3	0.0	0.1	0.0	28.0	
	풀넙치	<i>Citharoides macrolepidotus</i>	23.8	23.3	0.6	0.4	17.0~ 19.0	16.5~ 20.0
	홍 어	<i>Okamejei kenojei</i>	354.2	768.0	1.1	1.9	21.0~ 26.0	21.0~ 31.0
합계	17종		4550.6	2130.3	11.7	6.0		

(2) 어획량 분석

다기능고층어초에서 삼중자망에 의한 폭당 어획량은 4.6 kg어였으며, 주요 어획 종은 조피볼락과 참돔으로 이들 어종이 전체 어획량의 52.4 %를 차지하였다(표 3). 앞서 언급한 바와 같이 다기능고층어초는 높이가 15 m의 것으로 저층(0~5 m)에는 조피볼락 등

주축성 어종, 중층(5~10 m)에는 참돔 등 보목표성 어종, 그리고 상층(10~15 m)에는 전갱이, 등 회유성 어종이 위집하도록 설계된 것이다. 특히, 동 어초의 저층에 흡관을 설치한 것은 조피볼락 등 주축성 어종이 면구조를 선호하는 습성을 이용한 것이며, 수심 43 m에 시설한 것은 조피볼락이 동계에도 월동할 수 있도록 고려한 것이다. 조사 결과, 주축성 및 보목표성 어종은 어획되었으나, 회유성 어종은 어획되지 않았다. 또한 조사기간 동안 어획된 조피볼락의 크기를 보면, 17.0~39.0 cm으로 비교적 큰 개체도 어획되었다. 일반적으로 조피볼락의 경우 3세 이상이 되면 수온이 저하되는 동절기에는 외해로 이동한다고 알려져 있는데(日本宮城縣, 1986), 본 연구에서는 이에 대한 연구는 수행치 못했다.

(3) 비용 대비 효과 분석

표 3를 이용하여 다기능고층에서의 연간증산량(어획량)을 구하면, 1,452kg이 되며, 금액으로 환산하면 연간 14,521,800원이 된다. 증산량을 산정함에 있어 어가는 kg당 10,000원, 척당 어구사용 폭수는 4폭, 조업일수는 150일, 1척이 조업한 것으로 하였다. 한편 경비는 적지조사비, 활인율은 6.5 %로 하여 비용대비효과를 산정한 결과, 사업효과는 1.41로 나타나 다기능고층어초는 투자효과가 비교적 높은 것으로 추정되었다(표 4).

표 4. 비용대비효과 분석표

증가 편익액						감소 편익액			증감순 편익액 (C, 천원)	내구 연수	타당투자액 (E, 천원)	사업비(F, 천원)	사업효과 (E/F)	
직접 편익 (천원)		간접 편익 (천원)		純益 합계 (천원)	무효 투자액 (A)	A의 회수예정 기간(B)	A/B							
편익액	경비	純益額	便益額					경비	純益額					
14,522	1,000	13,522	-	-	-	13,522	-	-	-	13,522	30	176,579	125,200	1.41

다. 다기능고층어초에 작용하는 외력 및 투영면적 분석

어초가 전도하지 않을 조건은 전도에 대한 저항 모멘트가 전도 모멘트보다 크거나, 수중에서 어초의 자중 및 어초에 작용하는 유체력(F₀)의 작용선이 저면에 있으면 안전하다고 할 수 있다. 인공어초에 작용하는 유체력(F₀)과 관련하여 강제고층어초는 테구조로 제작되기 때문에 전도는 유체력 보다는 계류력에 의해서 일어나는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 가상의 계류력을 이용하여 분석하였다. 관련 식은 앞서 언급한 식(2-1)에서와 같이 나타낼 수 있다.

$$W > \frac{F_0}{l_w \left(1 - \frac{\rho}{\sigma}\right)} \times S_{F2} \quad (2-1)$$

여기서,

W: 어초의 공중중량, l_w : 어초의 회전 中心으로부터 중심까지의 수평거리, ρ : 해수의 밀도, σ : 어초의 밀도, S_{F2} : 전도에 대한 안전율 (1.5)

전도에 대한 계류력은 5, 10, 20톤, 그리고 계류사의 길이는 수면으로부터 어초 높이까지의 길이에 대한 45°의 대각선 길이로 하여 33 m로 하였다. 그리고 계류력을 각각 달리하여 전도모멘트 값을 구하면 계류력 5톤의 경우 16.8톤, 계류력 10톤의 경우 33.5톤이 된다. 따라서 다기능고층어초의 수중무게는 53톤이므로 계류력 20톤까지는 안전하다고 할 수 있다. 투영면적과 관련하여 다기능고층어초는 225 m²이고, 어초의 후류역은 유체역학에 기초하여 구하면 약 90 m정도가 된다. 따라서 다기능고층어초 단독으로 시설할 경우는 어초간의 거리를 약 100 m 간격을 유지하여 시설하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

라. 다기능고층어초의 생산성 분석기법 검토

다기능고층어초와 같이 높이가 높은 어초에는 주축성, 보목표성, 회유성 어종 등 어초에 반응하는 모든 어류를 대상으로 하기 때문에 삼중자망과 같은 특정 어구만을 이용하여 효과를 평가하는 것은 많은 오류를 범할 수가 있다. 따라서 어초의 평가에 적합한 연구방법을 선택해야 한다. 어초에 모여든 어류 위집량의 추정은 많은 방법에 의해 수행되고 있다(그림 9). 예를 들면, 잠수조사, ROV (Remotely Operated Vehicle)에 의한 조사, 음향어탐에 의한 조사, 어구에 의한 조사 등이 있다. 본 연구에서는 잠수조사와 ROV에 의한 조사만을 기술한다.

(1) 잠수조사

(가) 수평투시도

1. 권척기가 부착된 직경 20 cm의 회색원판(이하 회색원판으로 한다)을 이용한다.
2. 인공어초의 임의 점에 1명의 잠수자가 측정 기구를 가지고 정위하고 다른 잠수자 1명이 회색원판을 가지고 수평으로 이동한다.
3. 잠수자는 다른 잠수자가 가지고 수평 이동하는 회색원판을 관찰하고 보이지 않는 거리(수평투시도)를 관찰·기록한다.

(해설)

바다 속의 인공어초 주변에 위집 어류량을 추정하기 위해서는 수평의 어류관찰 가능 거리를 파악하는 것이 중요하다. 통상적으로 해상으로부터 수중 투명도를 계측하는 간단한 방법으로는 투명도 판(Secchi disk)을 해면으로부터 내려 투명도판이 보이지 않는 거리로 표시하는 것이 일반적이다. 이 방법을 응용하여 체장 20 cm 전후의 어·패류를 산정한 직경 20 cm의 회색원판에 측정눈금을 붙여 수중에서 1명의 잠수부가 이것을 가지고 수평으로 이동하며, 다른 1명이 회색원판이 보이지 않게 되는 거리를 측정한다. 이 거리를 수평투시도로 기록한다.

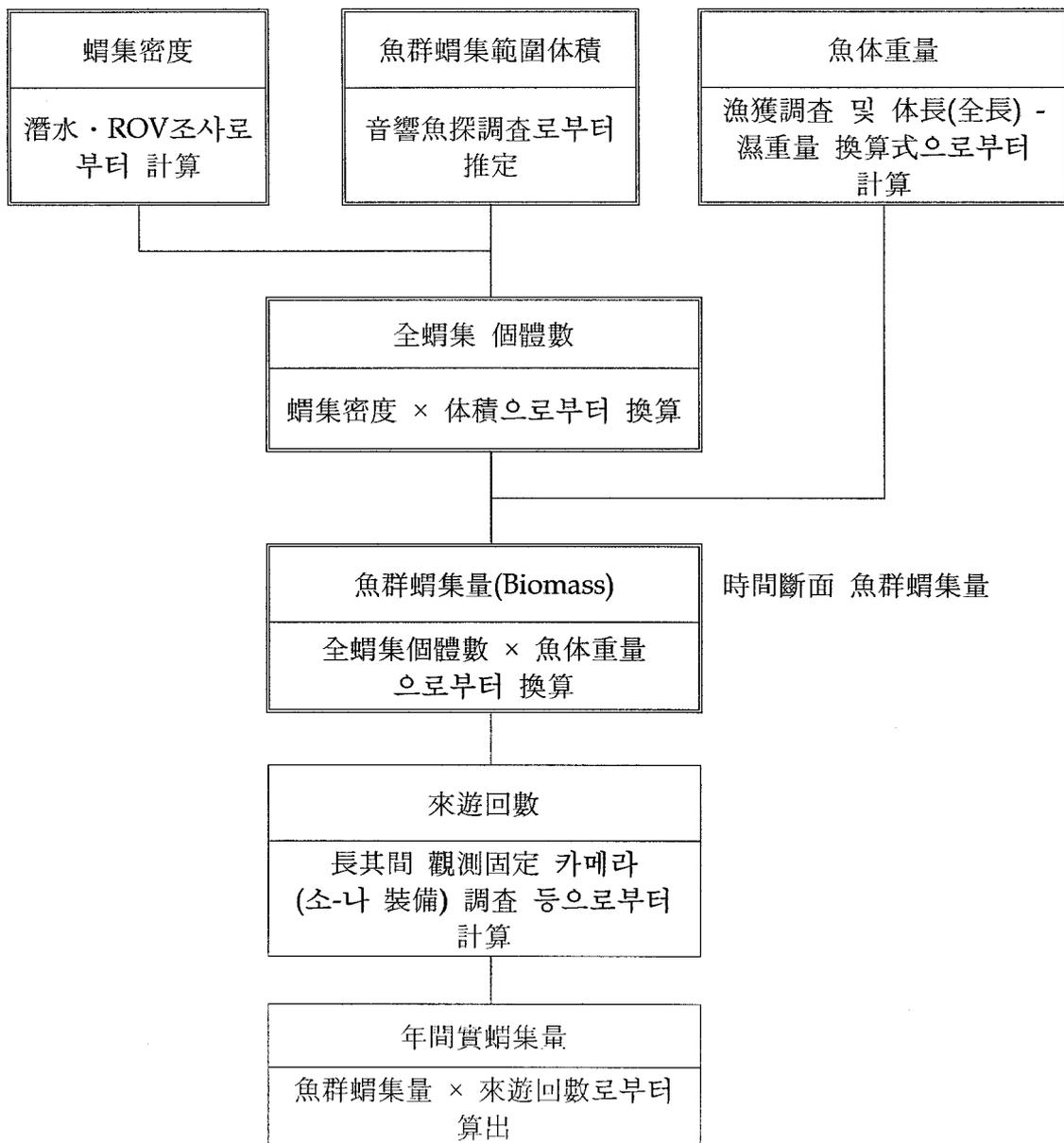


그림 9. 어군위집량 해석 흐름도(日本水産廳, 2005).

(나) 위집어류 관찰(위집어종, 분포범위, 위집어 정량)

1. 두 명의 잠수부가 화각을 확인한 수중 VTR 카메라 혹은 스틸카메라를 휴대한다.
2. 정점관찰법(Stationary Visual Census), 벨트트렌섹트(Belt Transects)법에 준하여 목시 관찰을 행하고, 각 관찰 중에 위집장소, 평균체장, 대상지역의 전체 위집미수 혹은 단위체적당 미수를 관찰하고, 휴대한 기록판에 기록한다.
3. 2의 관찰 지점수는 적어도 5개 지점이상 설정하는 것이 바람직하다.
4. 동일조사를 인공어초 주변에 설정한 대조구 에서도 행한다.

(해설)

- 주로 위집어의 위집장소를 기록한다. 특히 인공어초와의 상대적 위치(상층, 중층, 하층, 조상층, 조하층)와 群의 범위를 기록한다.
- 각 조사 시 특별히 기록할만한 관찰생물이 발견된 경우는 기록판에 기록함과 동시에 VTR을 촬영한다.
- 위집어에 대해 정량과약을 행하기 위해서는 수중조사 중에 인공어초 주변의 위집하는 어류의 전량을 파악하는 것이 바람직하다.
- 대상역의 규모가 큰 자리돔, 황점볼락, 벤자리 등 어초주변에 커다란 어군을 형성하는 경우는 다음의 기술하는 정점관찰법과 비디오를 이용한 어군계수법에 따라 목시 관찰한다.
- 대상역의 규모가 큰 도루묵, 조피볼락, 솜뱅이 등 저서성 어류로 커다란 군을 만들지 않는 어종이 많은 경우는 다음의 기술하는 벨트트렌섹트(Belt Transects)법에 준해서 목시 관찰을 행한다.
- 각 어종의 평균적 체장, 단위 면적당 관찰미수 혹은 간이 체적당 미수를 관찰하여 잠수조사 종료 후에 이 관찰결과로부터 대상역 전체의 위집미수를 외삽법으로 추정한다.
- 정점관찰법, 벨트트렌섹트(Belt Transects)법을 이용할 경우 위집밀도의 오차를 적게 하기 위해 적어도 5개지점 이상의 조사지점을 설정하는 것이 바람직하다.
- 관찰미수 표기는 평균치±표준편차 혹은 표준오차로 표시한다.
- 어초의 설치 상황과 대상어류에 따라 구체적인 조사방법은 다르지만, 일반적으로 서로 섞인 어초군 에서의 조사는 정점관찰법과 벨트트렌섹트(Belt Transects)법을 서로 조합하여 행할 필요가 있다.
- 또한 깊은 수심에 설치하는 고층어초의 잠수조사 방법으로는 정점관측법 만으로 조사하는 것이 적합하다고 볼 수 있다.
- 인공어초 설치주변해역의 계절적 혹은 經年的 海況변이에 의한 오차를 최소화하기 위해 똑같은 조사는 어초주변에 설정한 대조구에서도 행할 필요가 있다.

① 정점관찰법

1. 어초 주변의 어군분포 범위를(집단높이와 폭을 인공어초와 비교하여) 대략 파악한다.
2. 임의로 설정한 5~10점에서 관찰자 주변 360°로 임의높이(예를 들면 관찰자의 신장)의 범위에 있는 미수(x)를 목시에 의해 계수한다.
3. 이 경우 상술한 투시도 조사에서 측정한 4방의(최소치+최대치)/2을 a, 높이를 b로 하면 관찰체적은 대략 $ba^2\pi$ 로 된다. 만약 높이가 2 m, 반경이 4 m 경우의 관찰체적은 $2 \times 4^2\pi$ 의 계산식으로부터 약 100 m³로 된다 (그림 10)
4. 집단의 분포범위가 인공어초 내부 전체로 넓게 되어 있는 경우는 인공초의 m^3 가 집단의 분포체적 v로 되기 때문에 위집미수 N은 다음 수식으로 추정 할 수 있다.

$$N = x / ba^2\pi \times v$$

② 비디오를 이용한 어군계수 법

1. 위집어 수가 상당히 많고, 고밀도로 인해 목시 관찰로써는 계수가 어려운 경우는 휴대용 수중비디오카메라, 스틸카메라로 정점주위 4방향에 대해 촬영을 행한다.
2. 잠수종사 종료 후에 사용한 카메라의 수중에서의 화각과 투시도로부터 촬영체적을 계산한다(그림 11).
3. 1화면 중에 촬영미수를 계수하고 단위 체적당 위집 매수를 추정한다.

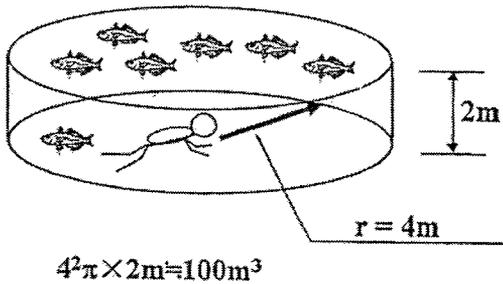


그림 10. 정점관측법.

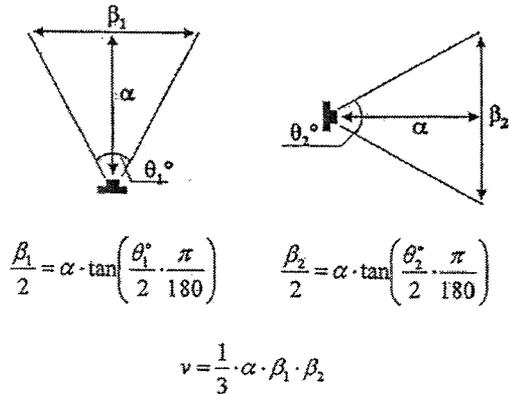


그림 11. 촬영체적의 계산.

③ 벨트트랜섹트(Belt Transects)법

1. 어초 주변에서 어초규모에 따라 5측선 혹은 그 이상을 임의로 설정한다.
2. 잠수자가 이동하면서 측선주변에 있는 어류를 관찰, 기록한다.
3. 잠수종료 후 단위체적당 미수를 계수하고 외사법에 의해 인공어초 역 전체의 분포 수를 추정한다.

(해설)

- 이때에 측선을 따라서 폭 W, 높이 H의 범위로 길이 L의 측선을 관찰하면, 관찰체적은 대략, $H \times W \times L$ 로 된다. 예를 들면 25 m길이의 측선위를 폭 2 m, 높이 2 m의 범위로 관찰하면 그 관찰체적은 약 100 m³로 된다(그림 12)
- 벨트트랜섹트(Belt Transects)법에 의한 모든 잠수관찰 중에 1개체만의 출현의 경우 그대로 서식개체수를 1개체로 해서 계수한다.

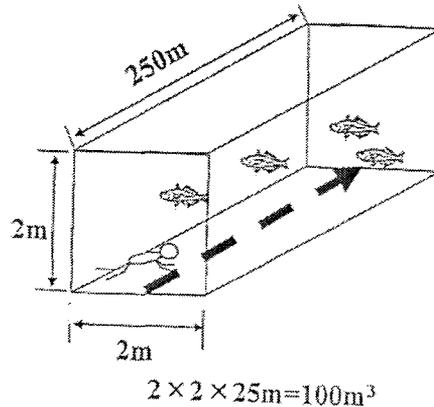


그림 12. 벨트트랜섹트법.

(2) ROV (Remotely Operated Vehicle)조사

1. 조사선은 조사대상 위 또는 그 潮下側에 계류한다.
2. 조류가 빠른 경우는 ROV용 잠행로프를 선상으로부터 내려 ROV 케이블을 묶는다(그림 13).
3. 조사 시의 조류에는 항상 유의하고 조사선의 위치가 벗어난 경우는 보정 혹은 다시 앵카링을 하는 등 조사선의 위치를 조정한다.
4. 선상으로부터 ROV를 내려 카메라의 영상과 나란히 소-나 를 이용해서 조사대상을 탐색한다.
5. 인공어초 및 인공어초 주변의 위집어를 관찰, 촬영한다.
6. 기록된 영상으로부터 화면 내에 촬영된 어류 개체수를 계수하여 어군밀도를 산출한다(그림 13)
7. 조사대상에 넙치, 가자미류 등의 저서성 어류가 포함될 경우는 저서성 어류의 서식 밀도를 파악하기 위해 별도로 제작한 저서어류를 위해 들출해서 만든 장치를 ROV에 부착하여 일정거리를 저면에서 휘어져서 서식밀도를 파악하는 장치를 이용했다.

(해설)

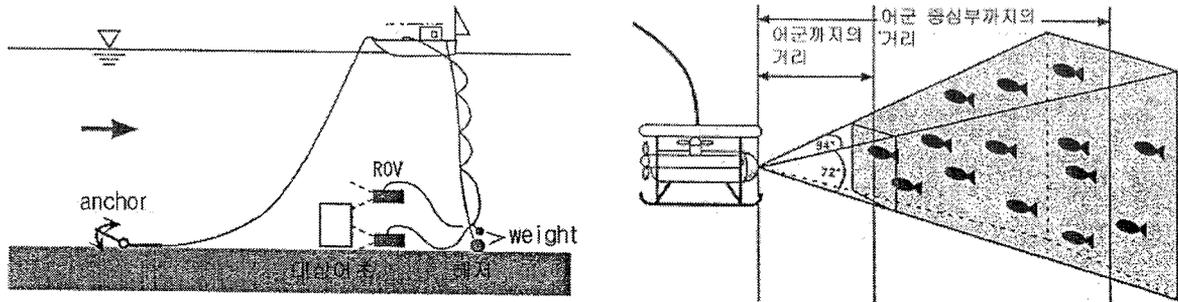


그림 13. ROV 조사 예(좌), ROV 촬영에 의한 어군밀도의 계수(우).

- ROV에는 크기, 운동능력, 사용 전력 등이 다른 각종의 것이 존재하므로, 카메라가 장착된 소나, 메뉴퍼레이터, 트랩 등을 장착하여 각종 용도를 특화한 것이 출하되고 있다. 이들의 공통점은 원격조작에 의한다는 것이며, 카메라에 한정된 정보로부터 상황을 판단하기 위해 조작, 해석에 숙련이 요구된다.
- 사용하는 기기는 ROV, 소나, 비디오 등 기록기기, PC, 이들에 필요한 전력공급 기기, 잠수용 로프, 추, 마킹 부위 등 어류 촬영 시에는 ROV의 접근과 라이트 점등에 의해 도피행동에 주의 한다.
- 조사에 있어서는 어군의 밀도를 해석할 때에 계산할 수 있도록 정치하여 촬영한다.

다기능고층어초의 생산성 분석기법의 검토와 관련하여 잠수조사와 ROV만을 기술하였으나, 이들 방법 역시 어류의 관찰과정에서 어초 시설지의 투명도 등 환경에 영향을 많이 받기 때문에 여러 면에서 제약이 따른다. 따라서 고층어초의 생산성을 과학적이고 효율적으로 구명하기 위한 보다 많은 연구가 선행되어야 할 것이다.

3. 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서 작성

본 연구에서 제시한 인공어초어장조성 기술지침서에는 인공어초시설 및 관리 매뉴얼, 강제어초 제작 매뉴얼, 인공어초 비용편익분석 매뉴얼 등 3부분으로 구성되어 있다.

가. 인공어초 시설 및 관리 매뉴얼(안)

인공어초 시설 및 관리 매뉴얼은 인공어초 기능 및 어장 구성, 적지조사 및 적지선정, 시설, 효과조사, 인공어초의 관리 유지 등 모두 5장으로 구성되며, 세부 내용은 다음과 같다.

제 1 장 인공어초 기능 및 어장구성

1. 적용범위

본 메뉴얼은 바다목장조성을 위한 인공어초에 관한 것이며, 본 메뉴얼 이외의 사항에 대하여는 인공어초시설사업집행및관리규정(해양수산부 훈령제328호)에 의한다

(해 설)

바다목장 조성을 위해 사용되는 인공어초는 설치형태에 따라 침설어초와 부어초로 나눌 수 있으며, 침설어초에는 콘크리트 어초, 강제어초, 강제어선어초 등으로 나눌 수 있다. 본 메뉴얼은 침설어초에 관한 것으로 강제어선 어초는 제외한다.

2. 인공어초의 정의 및 기능

인공어초는 어류 등의 수산생물이礁나 침선 등에 위집하는 성질을 이용하여 대상으로 하는 수산생물의 어획 증대, 조업의 효율화 및 보호배양을 도모하기 위한 시설물을 말한다. 그리고 인공어초장이란 인공어초를 계획적으로 배치하여 조성하는 어장을 말한다.

(해 설)

인공어초로 조성된 인공어초어장은 주로 어획의 증대, 조업의 효율화를 도모하기 위해 콘크리트 어초나 강제어초 등을 계획적으로 배치하여 조성하는 어장이다. 인공어초에 위집하는 어류 등은 각각 어초에 대하여 특유의 행동생태를 나타내는 것으로 알려져 있다. 이들의 어종을 어초에 대한 定位의 형태에 의하여 분류하면 3형으로 다음과 같이 분류할 수 있다.

- I형 : 어초에 어체 전부 혹은 일부분을 접촉시키는 어종(취노래미, 조피볼락, 솜뱅이, 볼락 등)
- II형 : 어초에 어체를 접촉시키지는 않지만, 어초의 주위를 유영하는 어종(참돔, 돌돔, 농어, 벤자리 등)
- III형 : 어초로부터 떨어진 표, 중층 수역에 유영하는 어종(방어, 가다랭이, 삼치, 전갱이, 고등어 등)

이들에 속하는 형들의 어류 중에서도 어초와의 강약의 정도는 어종에 따라 다르다. 또한 동일 어종이라도 발육단계와 계절에 따라 차이가 있다고 알려져 있다. 인공어초에 위집하는 이들의 어종은 각각의 감각기관으로 인공어초의 존재를 감지하면서 특유의 행동

을 나타낸다고 알려져 있다. 이들의 생물이 인공어초의 존재를 감지하기 위한 자극으로서
는 접촉자극, 시각자극, 음파자극, 흐름에 대한 자극 등이 있다. I 형에 속하는 어종은
주로 접촉자극, 시각자극, II 형에 속한 어종은 시각자극, 음파자극, III 형에 속하는 어
종은 음파자극, 흐름자극에 각각 반응한다.

3. 인공어초어장의 구성

본 매뉴얼에서는 인공어초어장의 구성을 다음과 같이 한다.

어초單體 : 어초어장을 구성하는데 이용되는 1개의 구조물

單位어초 : 1개 또는 복수개의 어초 單體에 의해 구성되어지는 최소규모의 어초어장

어 초 군 : 서로 單位어초 유효 어획 거리 내에 있는 복수의 단위어초에 의해 구성되어
지는 어초어장

(해 설)

어초單體는 어초어장조성에 이용되는 1개의 구조물이며, 각종 형상과 규모를 갖는다.
單位어초는 어업생산의 장으로서 안정된 효과를 발휘할 수 있는 최소규모의 어장이다. 單
位어초에는 1개의 어초單體로 구성되어진 것과 복수의 어초單體로 구성되어 지는 경우가
있다. 또한, 어초군은 單位어초가 유효 어획 거리 내(어획의 유효범위, 어군의 이동가능거
리 및 流影의 영향범위 등)에 배치된 하나의 集積體를 갖는 어장이다.

제 2 장 적지조사 및 적지선정

1. 적지조사

가. 조사계획

바다목장 조성을 위해 인공어초 시설 예정지에 대한 시설사전조사를 위해 필요한 계
획을 수립해야 한다.

(해 설)

바다목장 내의 인공어초를 조성할 해역은 대상생물의 서식조건과 물리·화학적 환경
으로부터 효과적인 인공어초어장이 형성될 수 있고, 대상해역의 어업자가 어장을 유효하
게 이용할 수 있는 해역이어야 한다.

적지조사를 실시함에 앞서 조사예정 해역에 대하여 필요할 경우, 대상해역 및 인접해
역에 있어서 생물·화학적 조건조사로부터 대상 어종마다의 적합한 어장조건 파악 및 어

획효과의 추정을 행한다. 어획효과의 추정은 바다목장 해역에 있어서 대상종의 가입, 배양, 어획, 분산, 사망 등과 어초의 어군 수용량에 의해서 추정할 수 있지만, 실제적으로는 해당해역에 있어서 기존 어초사업, 시험어초, 혹은 유사해역의 어초어장에서의 어획효과 측정 자료에 의해 대상 어종마다 어획효과를 추정한다.

나. 해역조사

(1) 생물적 조건 조사

인공어초의 조성위치 선정, 어초 單體의 선정, 單位어초, 어초군의 검토 및 효과 추정에 필요한 생물적 조건 등은 조사를 통하여 명확히 해야 한다. 이들 조사 결과는 물리적 조건 조사 결과와 함께 해석하여 효율적인 인공어초어장 조성계획의 자료로 사용한다.

(해 설)

인공어초어장은 대상어종의 위집을 기대할 수 있는 위치에 조성해야 한다. 그 조성 위치는 魚道인 수역의 수온, 수질 등의 조건이 대상어종에 적합하고 또한 어초가 부족한 수역 등이다. 인공어초 어장 조성에 사용하는 어초單體의 구조, 單位어초 및 어초군의 구성은 대상어종의 행동특성에 적합해야 한다. 이를 위해 필요할 경우, 대상어종의 발육 단계별 분포, 이동범위와 수온, 수심, 저질, 유동, 해저형상 등과의 관계 및 어초에 대한 반응 특성을 명확히 할 필요가 있다. 일반적인 조사대상, 조사항목, 조사방법을 표 5에 나타내었다. 조사계획을 설정함에 있어 먼저 기존조사 연구결과를 충분히 정리 검토하고 명확하지 않는 사항에 대해서는 별도의 조사를 행한다.

인공어초의 시설 수심은 적지조사에 의거 시설적지에 시설한다. 저질은 니질의 함량이 80% 이하인 곳으로 매몰이나 세굴의 영향이 없는 곳에 시설해야 한다.

표 5. 생물적 조건조사 항목 및 방법

조사 항목	조사 내용	조사 방법
주요 대상어종의 서식특성	-대상어종 -해저지형, 저질, 유동, 수온과 행동특성 파악	-기존자료 활용 -기존자료 활용 또는 청취 조사

(2) 물리·화학적 조건 조사

인공어초어장의 계획·설계에 필요한 수온, 염분, 유속, 수심 등 해양과 해저 등에 관한 조사를 행한다. 생물적 조건 조사 결과, 기존어장 형태조사와 함께 해석하고 효율적인 인공어초어장 조성계획의 자료로 사용한다.

(해설)

본 조사의 목적은 대상해역의 물리·화학적 특성을 파악하므로써 조성 후 환경조건을 예측하고, 생물조사, 기존의 어장형성 상황 조사를 입체적으로 분석하여 사업에 필요한 모든 조건을 수립하기 위한 자료를 얻는 것이다. 조사항목 및 내용은 표 6과 같다. 이들의 항목에 대해서는 대상해역의 특성과 대상어종에 따라 중요도를 감안하여 실시한다.

표 6. 물리·화학적 조건 조사

조사 항목	조사 내용	조사 방법
해양조사	-유속 -수온, 염분 -수심	-기존자료 활용 -수온, 염분의 측정은 CTD등에 의해서 관측을 행한다.
해저조사	-해저지형	-해저지형은 광역적으로는 해도 등을 이용하며, 이들에 의해 등수심선을 작성한다. 이와 함께 음향측심기 등을 이용하여 기존자료를 보강한다.
	-저질	-저질조사는 해도 등 기존자료, 청취조사 등에 의해 관련해역의 상황을 파악하고, 필요하면 채니기를 이용하여 시설예정지의 저질을 파악해야 한다.

(3) 사회·경제적 조건조사

조성하려는 어초어장은 대상으로 하는 지역에 있어서의 연안어업 유도방향, 어장이용계획을 기본으로 하여 검토한다. 이를 위해, 해역조사와 더불어 대상지역의 사회·경제적 조건을 조사하여 사업의 목표, 조성위치, 조성규모 검토의 기초 자료로 활용한다.

(해설)

인공어초어장 조성계획을 책정함에 있어 대상지구의 연안어업에 대한 실태와 문제점을 명확하게 하여 문제점을 해결할 수 있는 어초어장의 역할을 검토할 필요가 있다. 또

한, 조성하고자 하는 어장은 대상지역의 연안어장이용에 관한 효율화를 도모하지 않으면 안 된다. 때문에, 대상지구에 있어서의 산업구성, 그 가운데에서도 바다목장사업이 어느 위치에 있는가를 명확히 하여, 사업에 의해 개선되어야 할 목표를 설정하기 위해 대상지구에서의 산업별 취업자수의 추이, 취업자 1인당의 소득액 및 지구연안어업의 개황에 대한 통계자료의 해석, 설문조사, 청취조사 등에 의해 명확히 밝혀낸다.

2. 적지선정

조사 결과를 해석하고 대상해역의 어장특성, 자원특성 등 적합한 어장조건을 추정하여 인공어초 어장의 조성 계획을 세운다.

(해 설)

조사는 사전에 그 목적을 명확히 하는데 있지만 그 목적에 따라서 조사결과를 충분히 활용하는 것이 중요하다. 대상어종 등 생물적 조건조사, 물리·화학적 조건조사로부터 대상 해역에 있어서 적합한 어장조건을 추정하여 인공어초 시설적지 선정에 참고한다.

제 3 장 시설

1. 예인 및 시설지 부표설치

제작된 인공어초는 시설지까지 안전하게 적재하여 시설해야 한다. 예인 시에는 예인 로프가 절단되거나 예인선의 침몰 등의 사고가 발생하지 않도록 안전조치를 강구해야 한다.

어초의 시설 위치에는 사전에 부표를 정확히 설치해야 하고, 부표는 해상에서 발견하기 쉽고 어초 시설 기간동안 이동이나 유실되지 않도록 견고하게 시설하여야 한다.

(해 설)

제작된 인공어초는 시설지까지 바지선에 적재하여 이동하는 방법이 이용되고 있다. 어초의 시설 위치에는 사전에 감독관의 입회하에 GPS (Global Positioning System) 등에 의해 부표를 정확히 설치해야 하고, 부표는 해상에서 발견하기 쉽고 어초 시설 기간동안 이동이나 유실되지 않도록 견고하게 시설하여야 한다.

2. 배치 형태 및 시설규모

인공어초의 배치는 어초의 높이가 2 m이하의 것은 한 곳에 집적하여 시설할 수 있고, 높이가 3 m이상의 어초는 1개씩 일정거리를 두어 시설한다. 어초와 어초의 간격(분산)은 어초 전체의 投影면적이 20배 정도 이하로 하여 시설한다. 單位어초의 시설 규모로는 1개소에 1,600~2,400 m³ 정도로 한다. 복수의 單位어초로 구성되는 어초군간의 거리는 I, II형 어초의 경우 400 m, III형 어초는 600 m 이내로 배치한다

(해설)

인공어초의 배치는 집적하여 시설하거나, 1개씩 일정 거리를 두어 시설한다. 그러나 집적하여 시설할 경우 지나친 집적으로 인하여 어초의 내부의 공간이 밀폐되어 조류 소통을 방해하는 등의 사례가 없도록 주의해야 한다. 어초와 어초의 간격(분산)은 어초 전체의 투영면적이 20배 정도 이하로 시설하는 것이 바람직하다. 單位어초 J(空 m³)의 한변이 a (m)인 사각어초로 조성할 경우, 분산 반경 r (m)은 단위조성 면적을 S (m²)로 하여

$$S = \frac{J}{a^3} \times a^2 \times 20 = \frac{20J}{a}$$

$$r = \sqrt{\frac{20J}{\pi a}}$$

로 된다. 예를 들면 J=400空m³, a=2.0m의 사각형어초의 경우, S=4,000 m², r=약36 m가 限界의 크기로 되며, 이상 분산되면 어초어장의 효과는 떨어지게 된다(日本沿岸漁業振興開發協會, 1986).

單位어초의 시설 규모는 1,600~2,400 m³ 정도로 한다. 그러나 시설 수심, 사용어법 등 해역의 여건에 따라 적지조사 결과를 토대로 별도로 규모를 정하여 시설 할 수 있다.

제 4 장 효 과 조 사

1. 실시시기

새롭게 시설된 인공어초의 효과조사는 시설 직후부터 1년이상 조사한 것으로 원칙으로 하되, 해역실정에 따라 조정할 수 있다. 시기는 계절별로 연 1회 이상 실시하여야 한다.

(해설)

어초시설의 안정에 관여하는 유속 및 파랑은 계절적으로 변화되기 때문에 어초시설

의 안정상황을 관찰, 조사하는 데에는 시설 직후부터 세굴, 매몰, 이동, 파손 등의 조사를 실시하는 것이 바람직하다. 한편, 새로 시설된 인공어초에 부착생물의 착생을 확인하는 데에는 시설 후 3개월이 경과할 무렵이며, 그 후 부착생물의 천이가 일어난다. 시설수역으로의 어군 來遊시기는 계절에 따라 다르며 어중에 따라서는 어초지역에 정착하거나 내유하여 일시 머무르게 됨으로써 어장이 조성된다. 또한 經年的, 계절적으로 인공어초에서 어획조사를 행한 결과에 의하면, 어초에서 어획량이 안정되기까지는 1년이 경과할 무렵인 점을 감안하여 시설 후 1년이 경과한 후 시설해역에서 대상어종의 분포밀도가 가장 높은 시기를 선택하여 조사한다. 조사 시기는 계절별로 연 4회이상 실시한다.

2. 방법

효과조사는 어초시설 위치의 확인조사, 잠수조사 또는 선상조사로 나누어 실시한다. 단, 해역 실정에 따라 조사항목을 조정하여 실시할 수 있다.

(해 설)

어초시설위치의 확인조사는 어초설치 시에 측정한 위치기록 등을 토대로 하여 GPS, 어탐 등의 방법으로 정확히 파악한다. 잠수조사에서는 시설 안정상태조사, 부착생물조사, 어군분포량 및 어군위치조사, 어군행동 관찰 등을 행한다. 시설안정상태조사는 어초시설의 파손, 변형, 어초에 어구가 걸린상태, 주변의 해저형상 변화량 등을 목시로 관찰한다. 부착생물조사는 시설된 어초에 부착한 부착생물의 주요종, 부착위치, 부착범위를 목시로 관찰하고, 필요할 경우 채집한다. 어군분포량 및 어군위치조사는 조사대상의 단위어초 주변에 분포하는 어종의 분포위치를 관찰한다.

선상조사에서는 해양관측, 어군탐지기조사, 어획조사 등을 행한다. 해양관측은 수온, 염분, 투명도 등의 해양환경을 가능한 한 선상에서 측정기 등을 이용하여 측정한다. 어군탐지기조사는 어초를 중심으로 하여 8방위로 천천히 항해하면서 어초의 시설과 어초에 위집하고 있는 어군의 반응을 조사한다. 어획조사는 어초에 위집한 어류의 어종과 성장단계를 측정하기 위하여 낚시나 자망 등 적정어구를 사용하여 어획조사를 행한다.

어초시설상태 확인조사는 먼저 시설된 어초의 위치를 확인하고 목표로 하는 부표를 설치한다. 어초의 위치는 시설시 지정한 GPS 등의 자료를 기초로 하여 어초를 확인한 후 어초의 가까운 지점에 부표를 설치한다. 필요할 경우 잠수조사를 통하여 인공어초의 시설장소 및 그 주변에서 어초의 영향에 의해서 저질변화가 발생하지 않는 각 1점을 정하여 저질 상태를 조사할 수도 있다. 이들 2점의 저질조성의 차이에 의거 漂砂 등에 의해 생성된 저질의 이동 상황 등의 추정이 가능하다. 또한, 어선어초 시설의 파손, 변형 또는 인공어초에 어구가 걸려있는지의 여부, 인공어초시설 상태 등의 변화를 관찰하고 변화가 있으면 스케치하여 기록한다. 이와 함께 주변의 해저형상의 변화상태 등을 관찰하여 세굴의 유

무, 그의 수평방향의 범위, 세굴깊이, 침하 등도 관찰한다. 또한 필요할 경우 부착생물은 인공어초 시설 장소별로 외측, 해저로부터 높이 등을 조사하고 부착생물의 우점종, 부착 범위 등을 관찰한다. 30 m 이천에 시설된 어선어초의 경우, 부착생물의 채집은 20×20 cm의 면적 내에 있는 생물을 긁어모아 시료보관 자루에 넣는다. 부착생물은 시설의 형상 변화를 촉진하는 동시에 쥐치류, 돌돔 등의 위집 어류의 먹이와 소형동물의 은신처 등으로 되어있어 생물의 위집과 관련하여 중요한 요소로 된다.

선상조사에서 수온, 염분, 투명도 등의 환경요인에 대하여 CTD 등의 해양관측 기기로 조사한다. 특히, 특정한 어초시설에 대하여 정기적으로, 經年的으로 조사 하는 경우에는 반드시 실시해야 되는 항목이다. 어군탐지기 조사는 어군의 이동 속도가 빠른 부어류나 어초로부터 떨어진 장소에 분포하는 저어류의 어군분포 위치 및 량을 조사하는 데에 적합한 방법으로 정밀측정을 위해서는 어군량을 정량화할 수 있는 개량어탐지기 필요하지만, 간단한 방법으로서 일반적으로 이용되고 있는 어군탐지기를 사용하는 것도 바람직하다.

어획조사는 잠수조사와 어군탐지기에 의한 조사를 함께 실시하고 관찰한 어류의 어종별, 성장단계별 측정을 위하여 어초에서 낚시나 자망 등에 의하여 어획조사를 행한다.

3. 보고서 작성

조사 보고서는 조사 單位어초마다 똑같은 순서에 의해서 간단하게 기술하고 필요에 따라서는 표나 그림 등으로 정리하며, 어탐기록지, VTR테이프, 사진 등을 정리하여 첨가한다(비교구 병행조사).

(해 설)

조사 보고서는 조사단위 어초마다 똑같은 순서로 간략하게 기술하고 필요에 따라서 표나 그림 등으로 정리하지만, 이미 그림이나 표를 사용한 경우에는 현장의 원래 자료를 기록한다. 또한 필요한 경우, 어군탐지 기록지, VTR테이프, 사진 등을 정리하여 각각 적절한 방법으로 설명(촬영위치, 어종 등) 첨부한다. 보고서의 목차 및 내용은 다음을 참고하여 작성한다.

가. 조사대상 어초의 위치

- 지역 명, 수역 명, 수심, 조사위치(도면 첨부)

나. 조사대상 어초

- 어초종류, 어초 空용적, 어초시설높이, 시설면적, 시설년도 등

다. 조사내용

- 조사 년 월 일, 조사항목

- 조사 기관명, 조사담당자명, 사용선박명 등

라. 환경조사

- 수온(표층, 저층), 저질, 투명도

마. 어초기능 조사

- 세굴, 침하상태, 전도 등
- 어초의 파손유무, 파손장소, 파손상태
- 어초에 어구가 걸려있는지 유무, 어구가 걸려있을 경우 어구명 및 위치

바. 부착생물 조사

- 부착생물의 종류, 종류별 착생부위(어초상하, 내외, 앞 뒤)
- 해저 면에 부착생물의 패각의 유무, 상태 등

사. 어군 분포량

- 어종별 어초에서의 분포위치, 흐름과 구조와 관련해서 설명

아. 어군행동

- 분포어종, 성장단계별 섭이관계, 도피, 산란 등 행동에 대한 관찰

자. 어군탐지기에 의한 조사

- 어초 시설 상태, 어군의 유무 등 어탐기록지 상에 나타난 기록 조사

제 5 장 인공어초의 관리 유지

인공어초에 어망 등의 폐어구가 걸려 어초의 기능이 현저히 저하하여 어초어장으로 이용할 수 없다고 판단될 경우에는 어구 등을 제거할 수 있도록 관할 시·도에 통보한다.

(해 설)

1. 인공어초에 걸린 폐그물 제거

인공어초는 수심이 깊은 곳에 시설되므로 시설 후 파손, 매몰, 분산 등에 의해 기능이 저하하는 경우라도 보수가 곤란하다. 그러나, 어망 등의 어구가 어초에 걸려 조업과 어초 기능에 지장을 줄 경우에는 비용과 효과를 검토하여 제거해야 한다. 제거는 다음과 같은

방법이 있다.

가. 잠수작업에 의한 제거방법

잠수부에 의해 어초에 걸린 어망을 절단한다든지, 회수하여 선상으로 올리는 방법으로 비교적 수심이 얕은 (일반적으로 30m 이천) 어초에서 행하여지지만, 잠수회사에 의뢰할 경우에는 많은 비용이 소요된다.

나. 망에 걸린 어초를 선상에 끌어 올려 제거 후, 다시 시설하는 방법

어초 자체를 크레인 등으로 바지선에 올린 후 망을 제거하고 다시 시설하는 방법이다.

다. 절단용 갈고리에 의한 제거방법

어선에 절단용 갈고리를 부착한 체인을 끌어 어초에 걸린 망을 제거하는 방법이다.

라. 자기항해식 수중비디오가 장착된 절단기에 의한 제거방법

일본 200해리어업개발촉진회(Marine forum 21)에서 개발한 방법으로 원형의 절단기를 자기항해식 수중 비디오에 장착시켜 선상에서 비디오를 보면서 조작하여 망, 로프 등을 절단하는 방법이다.

나. 강제어초 제작 매뉴얼 (안)

제 1 장 총칙

1. 적용범위

가. 본 제작 매뉴얼은 강제어초 제작공사에 적용한다. 이 매뉴얼에 인정되지 않는 사항 및 이에 의하지 않는 사항은 특별 사양서에 준하도록 한다.

나. 설계도 및 특별 사양서에 기재된 사항은 이 시방 사양서에 우선한다.

2. 일반사항

가. 강제어초의 제작, 조립에 종사하는 용접기술자는 자격증을 소지하고 용접작업에 종사한 경험이 풍부한자이어야 한다.

나. 공장에서 완제품을 제작하는 경우와 마찬가지로, 현장에서 조립하는 경우의 주요작업은 제작공장 파견 작업자 또는 이것과 동등 이상의 기술을 가진 자로 한다.

다. 제작업자는 설계도에 정해진 제품의 품질 등을 확보하기 위해 어초개발업체의 기술지도 등에 따라 사양서에 준해 제작한다.

3. 시공관리

제작업자는 별도로 정하는 본 매뉴얼 및 시방서 기준에 의해 관리를 행하고, 그 기록을 감독원에 제출한다.

4. 검사

가. 제작업자는 강제어초의 제작 또는 조립작업에 있어서 중요한 공정의 절차 및 그 작업이 완료하였을 경우는 필요에 따라 감독원에게 제출하여 검사 또는 확인을 받아야 한다.

나. 제품검사는 제작업자 또는 현장대리인 및 감독관 입회하에 검사를 받아야 한다.

다. 제작업자는 검사에 필요한 측정, 자료제출, 기타 처리에 따라 검사원이 지시한 것에 대하여 따라야 한다.

제 2 장 재료의 선정

1. 종류

鋼製어초의 일반적인 부재로는 鋼材, 콘크리트 및 자연석 등이 적당하다.

2. 鋼材

가. 사용 강재의 규격

한국공업규격(KS품 또는 그것과 동등 이상)의 품질을 가진 것으로 한다. 그 선정에 있어서는 규격 내용을 충분히 확인하고 용도, 목적에 적절한 재료를 사용하며, 규격은 별도로 협의하여 정한다.

나. 강재의 선정

강재를 강제어초의 구조재, 기능재로서 설계, 제작, 시공면, 경제면에서 보아 적절히 사용하기 위한 검토사항을 아래 표 7과 같이 정한다.

표 7. 강제선정의 검토사항

항목	고려사항	주요검토 사항
설계면에서 검토	구조적 특징 기능적 특징 시설해역의 특징	전체형상, 부재형상, 접합부 설계, 응력레벨 위집효과, 증·양식효과, 덕이생산기능, 포획기능 부식환경, 조류, 파랑, 수심, 저질, 시설조건
제작, 시공면에서 검토	용접성, 가공성 균질성	화학성분, 기계적 성질, MT용접검사.
경제면에서 검토	시장성, 가격 충중량	시장성 있는 규격 (정부 품셈표, KS 품, 각종 카타로그)

3. 콘크리트

가. 콘크리트 규격

한국공업규격(KS품 또는 그것과 동등 이상의 품질)을 가진 것으로 한다. 그 선정에 있어서는 규격내용을 충분히 확인하고 용도, 목적에 적절한 재료를 사용하며, 규격은 별도로 협의하여 정한다.

나. 콘크리트의 선정

콘크리트재를 강제어초의 구성 재료로서 설계, 제작, 시공면, 경제면에서 보아 적절히 사용하기 위한 콘크리트 어초의 규격에 따른다.

4. 석재

가. 사용석재

할석용 어초의 석재는 대상어종의 증·양식효과나 착생기질로서의 목적, 기능 등에 따라 적절한 것을 선정하여 사용하도록 한다. 또 어초의 구조상에 있어서 석재의 탈락이 없도록 크기 등에 주의를 요하여야 한다.

나. 석재의 선정

석재를 강제어초의 구성 재료로서 설계, 제작, 시공 면에서 보아 적절히 사용한다.

5. 그외 기타 재료

강재, 석재, 콘크리트 이외의 재료를 사용할 경우는 환경에 대해 문제가 없어야 하며, 필요한 강도, 내구성 및 균질성을 가져야 한다.

제 3 장 제작

1. 제작 flow-chart (그림 14)

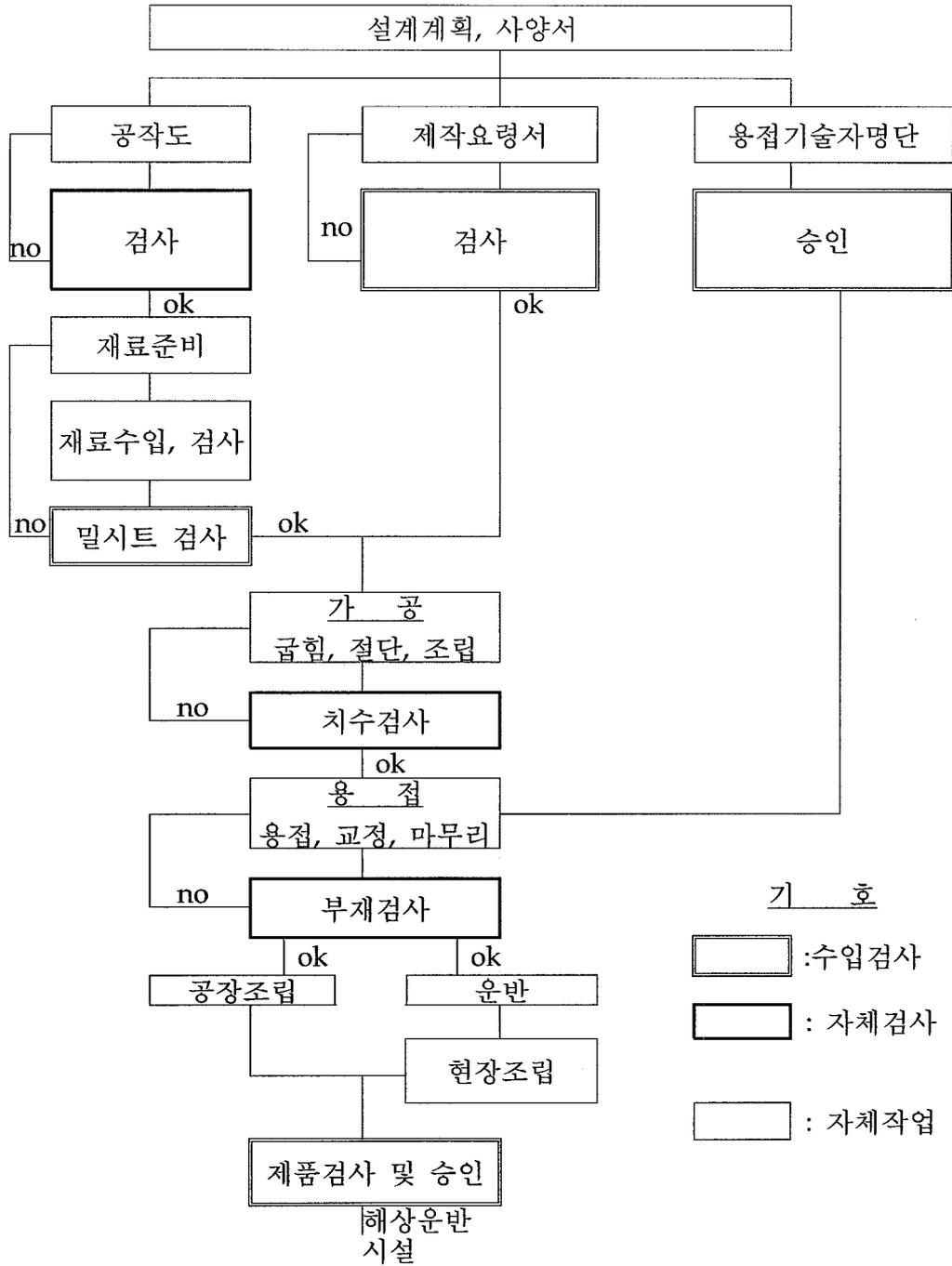


그림 14. 강제어초 제작 흐름도

2. 공작 및 부제조립

가. 공작도 및 치수도

- (1) 공작도는 설계도에 근거를 두고 작성, 감독원의 승락을 얻어야 한다.
- (2) 공작도는 공사기간 중에는 제작업자가 현장에 보관하고, 그 이후에는 어초개발 업체가 소정기간 보관하는 것으로 한다.
- (3) 치수도는 공작도에 근거하여 그 일부 또는 전부를 생략하는 것이 가능한 것으로 한다.

나. 강제줄자

강제제작에 사용하는 기준줄자는 KS 규격의 1급품을 사용하고 기타 줄자를 병행 사용하는 경우는 사전에 기준줄자와 비교하고 그 오차를 확인하여 기록하는 것으로 한다. 또 비교시의 테이프 장력은 5 kgf로 한다.

다. 가공후의 강제의 식별

- (1) 가공후의 강제는 소재시의 재질과 동일한가가 명확하게 구분 가능하도록 적당한 방법으로 식별할 수 있도록 한다.
- (2) 서로 다른 공사의 강제가 혼재하는 경우에는 강제에 공사명칭이 명료하게 되도록 표시를 하는 것으로 한다.

라. SCRIBING

- (1) SCRIBING은 공작도 또는 자, 형판으로 후의 공정에 필요한 사항을 정확, 명료하게 기록한다.
- (2) 굽힘 가공되는 강제의 표면에는 편치나, 정 등으로 표면에 상처를 주어서는 안 된다.
- (3) SCRIBING 치수는 가공 중에 생기는 수축, 변형 등을 고려한 값으로 해야 한다.

마. 절단

- (1) 강제의 절단은 그 형상에 최적방법으로 한다.
- (2) 전단 절단하는 경우의 강제판 두께는 원칙적으로 13 mm 이하로 한다.
- (3) 가스절단면의 정도는 아래 표 8과 같이 한다.

표 8. 가스절단 단면의 품질

거칠기	200S 이하
notch 깊이	2 mm 이하

바. 홈가공

홈가공은 원칙으로서 가스 절단기로 하는 것으로 하고, 홈가공면의 정도는 아래 표 9

와 같이 한다

표 9. 홈가공 면의 정도

거칠기	200S 이하
notch 깊이	2 mm 이하

사. 구멍 뚫기 가공

- (1) 가체결 볼트용 구멍뚫기 가공은 원칙으로서 드릴 뚫기로 한다. 단, 판두께가 13 mm 이하일 때에는 전단 구멍뚫기가 가능한 것으로 한다.
- (2) 볼트 구멍 직경은 볼트 공칭 직경에 2 mm를 더한 것으로 한다.
- (3) 구멍뚫기 가공후의 구멍 주위의 칩가루, 작업찌꺼기 등은 완전히 제거하여야 한다.

아. 변형 교정

- (1) 가공 중에 발생한 변형은 그 변형량이 정해진 제품 정도에 이상이 생기는 경우에는 교정하지 않으면 안 된다.
- (2) 변형교정은 상온 또는 熱間에서 행하는 것이나, 熱間에서 행하는 경우는 재질이 변형되지 않도록 주의하여야 한다.

자. 굽힘 가공

- (1) 굽힘가공은 冷間(상온)가공 또는 熱間가공으로 하지만, 熱間가공의 경우는 적열상태에서 하고, 靑熱脆性域(200~400℃)에서 하면 안 된다.
- (2) 상온가공에서의 굽힘내 반경은 재료의 판두께의 1.5배 이상, 강관의 경우는 직경의 5배 이상으로 하지 않으면 안 된다.

차. 부재조립

(1) 재료준비

- 조립에 사용하는 부재는 부재의 부호, 재질, 수량 등 확인 뿐만 아니라 오염, 부식, 유해한 흠 등이 없는가를 확인하여야 한다.
- 변형이 큰 부재는 소정의 제품정도를 확보하기 위해, 조립하기 전에 변형의 교정을 하지 않으면 안 된다.

(2) 부재조립

- 부재조립에는 작업에 적당한 定盤이나 治具를 사용해서 행하고 부재상호의 위치 및 각도를 정확히 유지하도록 조립하지 않으면 안 된다.
- 부재 조립시 그 구조형식, 용접방법 및 용접 순서 등을 정하여 용접에 의한 변형이

최소가 되도록 조립하지 않으면 안 된다.

- 가용접은 조립에 지장이 없는 범위에서 최소의 개소로 하고 비이드(용착금속)가 짧게 되지 않도록 주의하여 용접을 행하여야 한다.

(3) 조립후의 변형 교정

변형의 교정 방법에 대해서는 아 항의 변형 교정 항에 따른다.

(4) 가조립

제작 공장에 있어서 가조립을 행할 경우는 시공계획서를 세워서 행한다.

제 4 장 용접

1. 적용범위

어초의 용접부를 아크 손용접, 가스실드(gas-shielded)아크 반자동용접, 셀프실드아크 반자동용접, 서버머지드(submerged) 아크 자동용접으로 하는 경우에 적용하는 것으로 한다.

2. 용접재료의 선정 및 관리

가. 용접재료의 선정

피복아크용접봉, 와이어 및 가스등의 용접재료는 KS 규격품을 원칙으로 한다.

나. 용접재료의 관리

용접재료는 습기를 흡수하지 않도록 보관하고, 흡습되었다고 의심이 가는 경우는 건조기 등으로 성능이 유지되도록 하여 사용하여야 한다.

3. 흠의 확인 및 모재의 청소

가. 흠의 확인

용접에 앞서 흠이 적절인가, 부적절한 가를 확인하고, 부적절한 흠의 경우에는 용접을 하여서는 안 되며, 흠을 수정하고, 용접에 지장이 없는 상태가 되도록 하여야 한다.

나. 모재의 청소

모재의 용접면은 용접에 앞서 슬래그, 수분, 녹, 기름, 도료, 기타 용접에 지장을 주는 것을 제거하여야 한다.

4. 용접가공 일반

가. 용접부

용접부는 균열, 기공 등, 틈새부식에 유해한 결함이 있어서는 안 된다.

나. 전류, 전압 기타

용접은 용접방법, 강종과 판두께 및 작업환경에 따라서, 용접전류, 아크전압, 용접속도, 가스유량 등의 적절한 조건을 선정하여 실시하여야 한다.

다. 작업 지그

공장용접은 회전 지그, 포지셔너 등 적절한 지그를 사용하고 가능한 한 용접자세는 아래 보기로 행하도록 한다.

라. 작업

용접의 작업 방법 및 순서는 변형과 잔류응력이 최소가 되도록 대책을 세워 결함이 없도록 용접한다.

마. 아크 개시점 및 종료점

아크 개시점에는 특히 용입불량과 슬래그 섞임에 주의하여야 한다. 또 아크의 종료점 및 비드의 종단에는 균열이 발생하지 않도록 건전한 용착금속으로 그 크레이터(crater)부를 충분히 매꾸어 두지 않으면 안 된다.

바. 기온, 기후 기타

- 기온이 0℃이하의 경우는 용접을 하지 않으며, 단 용접부 보다 100 mm 범위의 모재 부분을 36℃ 이상으로 가열하여 용접하는 경우는 가능할 수 있다.
- 바람이 강한 날은 바람을 차단시켜 용접을 하여야 한다. 우천시나 습도가 높은 경우는 예를 들어 실내라 해도 수분이 모재의 표면 및 표면 부근에 없는 것을 확인하고 용접을 하여야 한다.
- 철망의 부착은 부식손상에 의해 이탈되지 않도록 용접하여야 한다.

사. 용접부의 청소

슬래그의 제거는 각칸별립 및 용접 완료 후에 하며, 용접부 부근에 부착하여 있는 스파터들은 제거하여야 한다.

5. 맞대기 용접

받침쇠를 사용하는 경우, 건전한 루트부 용입이 얻어지도록 충분한 루트 간격을 잡고, 받침쇠를 밀착되도록 하여야 한다. 받침쇠는 용접성에 문제가 없는 것을 선택하여야 한다.

6. 필릿 용접

가. 각장의 차

等脚 필릿 용접의 脚長은 심한 차가 있어서는 안 된다.

나. 부재의 밀착

필릿 용접된 상호부재는 충분히 밀착되지 않으면 안 된다.

다. 덧살

필릿 용접은 가능한 한 블록형 비이드를 피하고 덧살의 높이는 3 mm 이하로 하여야 한다.

라. 둘레용접(boxing)

엔드탭(endtab)을 사용하지 않는 필릿용접의 처음과 끝은 매끄럽게 둘레용접을 하도록 한다.

7. 용접부의 검사

용접부의 표면 결함 검사 및 정도는 육안검사를 표준으로 하지만, 그 기준은 아래 표 10과 같다.

표 10. 용접 외관 검사 기준

결함의 종류	허용범위
용접 비드 표면의 피트(pit)	필릿 용접에는 한개의 이음부에 흠집 3개, 또는 이음부 길이 1 m에 흠집 3개까지를 허용한다.
용접 비드 표면의 요철	비드 표면의 요철은 비드 길이 25 mm의 범위에 있어서 고저차로 나타내며 3 mm를 넘는 요철이 있어서는 안 된다.
언더컷	언더컷의 깊이는 0.8 mm를 넘어서는 안 된다.
오버랩	오버랩이 있어서는 안 된다.
필릿 용접의 크기	필릿 용접의 크기 및 목두께는 지정 필릿 크기 및 목두께 이상이어야 한다.

9. 불량 용접부의 보정

용접 종료 후의 검사에 의해 불합격한 부분은 적절한 방법으로 수정하여야 한다.

가. 유해한 결점이 있는 용접부분은 제거하고 재용접한다.

나. 용접부에 균열이 생긴 경우는 그 용접부를 전장에 걸쳐 제거하고 재용접 한다.

제 5 장 부식과 방식

1. 부식환경

강제어초는 약 200 m 정도까지의 해저에 시설된다. 따라서 부식환경은 해중, 해저부이다.

2. 부식요인

해중, 해저부의 부식은 주로 수온 및 용존산소량에 의해 좌우된다. 온난해역에서는 한냉해역보다 부식량이 크다. 또 통상 수심이 깊어짐에 따라 수온, 용존산소량이 저하하고 부식량도 적게된다. 우리나라는 일본에 비해 수온이 비교적 낮은 편에 속한다.

3. 부식허용량

- 가. 침설형의 강제어초의 부식허용량은 어초 최상부의 수심으로 결정한다. 보통강을 사용한 강제어초의 최상부가 20m 이상의 수심인 경우는 표 11의 값을 기준으로 한다.
- 나. 강제어초의 강재를 耐海水性鋼을 사용할 경우는 종류에 따라 차이가 있으나 부식량이 보통강의 약 1/2 정도이다.

표 11. 강제어초의 부식허용량

수 심	부 식 량(편면)
20~50 m	1.2 mm/30년
50 m 이상	0.9~1.0 mm/30년

* 여유율은 공식 등의 국부부식을 고려하여 2.0배로 한다.

4. 전기방식

부식허용량에 의한 방식에 추가로 전기방식을 함께 사용함으로써 부식에 의한 부재 두께감소 및 집중부식을 줄일 수 있다.

- 가. 전기방식은 통전방식에 의해 유전양극방식과 외부전원방식이 있다. 별도 유전양극방식을 할수 있다.
- 나. 유전양극방식은 알루미늄, 마그네슘, 아연 등의 양극을 강제구조물에 접촉시키고, 양극 속간의 전위차로서 발생하는 전류를 방식전류로서 이용하는 방식이다.
- 다. 유전양극재료는 알루미늄 합금이 단위중량당의 발생전기량이 가장 많고, 경제성이 우수하며, 해수중의 환경에 적합하다.

5. 피복재 및 기타 방식

피복재에 의한 방식에는 무기라이닝 공법, 도장공법 및 유기라이닝 공법이 있다. 부식대에 의한 방식에 피복재에 의한 방식을 채용하는 것에 의해 부식에 의한 부재두께 감소를 줄일 수 있다.

제 6 장 제품검사 및 운반

1. 자체검사

- 가. 공장 제작이 완료된 부재는 자체검사를 행하고, 그 결과를 기록하여 감독원의 요구가 있을시 제출하여야 한다.
- 나. 제품검사의 결과 발견된 불량개소는 신속히 보수하여야 하며, 중대한 결함이 있을 시에는 감독원과 협의하여야 한다.

2. 운송 및 계획

- 가. 운송계획은 현장조립에 지장을 주어서는 안 되도록 하고, 교통안전 등의 관계 제법령에 따라 작성한다.
- 나. 운송에 있어서는 제품에 손상이 없도록 충분히 주의하고, 특히 운송 중에 화물이 풀어지지 않도록 하고, 부재에 손상이 가지 않도록 적절한 대책장치를 준비한다.
- 다. 운송에 있어서 사전에 그 날짜를 감독원에 보고하여야 한다.

제 7 장 조립과 제품검사

1. 적용범위

공사현장에 투입되는 각부재의 분류 및 조립과 부재상호의 접합에 의해 강제어초의 제작이 완료되기까지 필요한 작업과 이들에 관한 가설공사를 대상으로 한다.

2. 담당기술자의 선정

제작자는 필요에 따라 강제어초 조립공사 담당 기술자를 별도로 정해 담당업무와 그 책임을 명확히 하여야 한다.

3. 현장조립

- 가. 반입 구분
 - 부재의 집적은 부등침하가 없도록 적절한 받침대 위에 쌓아야하며, 비틀림, 굽힘 등

의 손상이 가지 않도록 하여야 한다.

- 부재의 비틀림, 굽힘 등이 발생한 경우는 조립에 앞서 이것을 수정하여야 한다.

나. 지상조립

조립에 앞서 지상조립을 할 때에는 치수정도를 유지하기 위하여 유효한 가대, 지그 등을 사용하고 접합은 공장 및 현장용접에 준한다.

다. 조립중기

조립중기의 선정은 최대하중, 작업반경, 작업능률, 어초의 규모 및 형상, 주변환경 등에 의해 기종과 대수를 결정한다. 이 경우 바람, 지진, 크레인운반시의 충격하중 등에 대해서 안전하여야 한다.

4. 공장 및 현장용접

가. 용접방법 및 순서

- 용접은 특별사양서에 정하지 않는 한 아크 수용접, 가스실드(gas-shielded)아크 반자동용접, 셀프실드아크 반자동용접을 사용하는 것으로 한다.
- 용접은 용접 변형이 조립정도에 영향을 고려하여 그 시공 순서를 정한다.

나. 용접조건

기온, 기후 등의 용접조건은 특별사양서에 정해져 있지 않으면, 제4장 용접 항, 용접 일반 중 기온, 기후, 기타 항에 따라 시공한다.

5. 제품검사

가. 자재 검사

- 가장 최근판 및 그 부록이 적용되며, 주요 적용 규격은 다음과 같다.
- KS : KOREAN INDUSTRIAL STANDARD
- 자재는 철강사에서 발행되는 자재 시험 보고서에 따른다.
- 철강사에서 발행되는 자재 시험 보고서가 누락되었을 때는 확인하여 제출할 수 있다.
- 자재 외관 검사는 재료 표면에서 실시하며, 흠이나 균열 등의 자재 결함은 관련 사양서의 규격치 이내이어야 한다.
- 입고 자재가 적용 규격 및 기준의 요구 사항과 불일치하면 품질 관리부는 불일치 보고서를 작성하고, 적용 규격 및 기준에 맞는 자재를 입고시켜야 한다.

나. 제작 검사

- 용접 구조물은 일반 강구조물 제작 규격에 준하여 제작한다.
- 사용 재료는 KS에 일치하거나 동등 이상의 것으로 한다.

- 가공품은 KS의 일반 기계 가공 공작물 규정에 준하여 제작한다.
- 설비 제작 중 제품 변경이 불가피한 경우는 승인을 득한 후 제작한다.

다. 마킹 검사

- 원래의 자재 식별 표시가 2개 이상이므로 절단되어질 때, 주요 자재에 대한 원래 자재 식별 표시는 절단 전에 재질, 자재 번호 혹은 플레이트 번호 등을 각 피스에 정확히 표시 되어져야 한다.
- 식별 표시는 연속이거나 점과 점으로 날이 무딘 스탬프 혹은 마-킹 등으로 표시한다.

라. 흠 및 부착물 검사

- 흠 및 부착물은 관련 도면 및 적용 규격에 따라 실시한다.
- 용접되어질 모든 표면은 철저히 그라인딩, 와이어 부러싱이나 솔벤트클리닝 등으로 청정되어져야 한다.
- FLAME이나 아크가우징이 사용되어진 표면은 가공이나, 그라인딩으로 평탄하게 해야 한다.

마. 용접 검사

- 용접부는 전개소 육안검사로 용접누락, 균열, 기포 등이 없는 것을 확인하여야 하고, 발견된 불량개소는 신속히 보수하여야 한다.
- 용접, 용접 절차서 및 기술자 검정 등은 관련 적용사양의 요구사항과 일치하여야 한다.
- 용접 부는 전 길이에 대해 일정한 용접 폭과 각장을 유지해야 한다.
- 최종 용접 층은 거친 비드형상, 흠, 오버랩, 갑작스런 요철 현상이 없어야 한다.
- 각 용접 층의 패스간은 외관상으로 슬래그, 혼합물, 균열, 기공 및 용입 부족 등이 없어야 하며 대표적으로 1~2곳에 MT 검사를 한다.
- 상기와 같은 용접부 결함 수정은 가용성이나 흠 방법이 아닌 그라인딩으로 실시되어져야 하며, 근접된 모재의 최소 두께에 손상되지 않도록 해야 한다.

바. 외관, 치수 검사

- 모든 용접 부는 언더컷, 오버랩, 불규칙한 비드, 부적당한 용접 덧살에 대해 육안 검사가 실시되어져야 한다.
- 최종 검사 전 모든 슬래그, 쓰레기, 녹, 용접 스페너, 페인트, 기름 및 다른 이물질 등이 제거되어져야 한다.
- 해당 제작용 도면과 도면에 명기되지 않은 치수 허용 공차는 규정에 따라 치수 검사를 한다.

사. 부식 방식 검사

- 수소균열, 응력부식균열 및 부식 등을 방지하기 위하여 용접부의 건조 및 모재의 예

열을 용접 사양과 같이 용접 법에 의해 실시하여야 한다.

- 응력집중에 의한 응력부식균열을 방지하기 위하여 표면 가공 부위는 평탄하게 가공하여야 한다.
- 철망의 부착은 부식 손상에 의해 이탈되지 않도록 용접하여야 한다.
- 볼트의 체결은 틈새 부식이 일어나지 않도록 밀착되어야 한다.

아. 조립 검사

- 모든 볼트의 체결 상태
- 제작 완료후 LOOSE ITEM과의 조립성, 공장 제작 UNIT간의 조립 상태 확인을 위하여 가조립을 실시하여야 하고 이상 부위가 발견되면 이를 수정하여야 한다.

자. 포장 및 출하 검사

- 출하 준비 검사
 - 제품은 공장 제작 및 출하 동안의 우기, 기계적 손상 및 해로운 이물질 등으로부터 보호될 수 있는지 확인한다.
 - 인양 부분은 분명히 마킹 되어져야 하며, 개구부는 커버되어야 하고, 제품이 출하 되기 전의 원래의 SHIPPING STOPS, BOLTS, TIES 등은 모든 수단을 이용해 재 설치되어야 한다.
- 명판 및 꼬리표
 - 부식되지 않는 명판이 사용되어야 하며, 이것은 쉽게 육안으로 확인될 수 있어야 하고, 명판에는 장비명, 모델번호 SHOP ORDER NUMBER, SERIAL NUMBER, 기기 번호, 용역, 무게(Kg) 및 다른 관련 정보가 기재되어야 한다.
 - 식별용 꼬리표는 기기 묶음, 매듭에 부착되어야 한다.
 - a. 꼬리표는 부식되어지지 않아야 하며, 직경 30 mm 이상이어야 하며, 식별 그림이 스탬핑 되어야 한다.
 - b. 식별 그림 높이는 최소 5 mm이다.
 - c. 꼬리표는 공급자 도면상에 명시된 COMPONENT SYSTEM DESIGNATION SYMBOL 이 포함되어야 한다.
 - d. 꼬리표가 부착되는 모든 제품은 자재 일람 표상에 기록되어야 한다.

○ 형상검사

조립 완료 후 검사는 완성사진 및 완성관리도 등을 기초로 외관의 비틀림, 변형 및 형상치수를 측정하고 도면, 사양서 등과 일치하는가를 검사한다.

차. 납품

○ 운반 및 납품

- 운반 및 보관이 용이한 상태로 분해하여 운반 도중 파손이나 변형이 없게 한다.

○ 시설

- 설치 전에 설치 일정표를 작성하여 통보한다.

- 설치는 MAKER에서 제출한 도면을 기준을 하되 미소한 변경사항 발생시는 상호 협의 하에서 변경할 수 있다.

다. 인공어초 비용편익분석 매뉴얼 (안)

(1) 어류용 인공어초의 비용편익분석

제 1 장 기본 개념

1. 費用對效果算定式

비용대 효과는 비용편익비율=총편익/총비용(총사업비)로 산정한다. 총편익, 총비용은 각각 분석 대상기간의 각 년도마다 계측한 편익 및 비용의 합이다. 단지, 각 년도의 비용, 편익은 할인율을 이용해서 기준년도의 가치를 현재가치화한다.

$$\square \text{ 비용편익비율} = \text{총편익} [\sum(B_n \times R_n)] / \text{총비용} [\sum(C_n \times R_n)]$$

B_n : 기준년으로부터 n 년후의 년도에 발생하는 편익

C_n : 기준년으로부터 n 년후의 년도에 발생하는 비용

R_n : 기준년으로부터 n 년후의 년도의 할인율을 고려한 계수

2. 割引率 및 基準年

할인율은 0.04(4%)로 한다. 또한, 현재가치화한 기준년은 사업실시의 초년도로 한다.

3. 유지관리비

- 편익을 발생하는 데에 필요한 유지관리비는 편익액으로부터 빼서 순증가편익액으로 산정하고, 총비용에는 포함시키지 않는다.
- 분석기간에 사용하는 공종별 내용 년수는 인공어초(침설어초)의 경우 30년으로 한다.

제 2 장 계산방법

1. 어업생산 향상 효과의 편익액 산정방법

가. 편익액 산정 접근방법

- 어업생산향상효과란 생산량, 생산액증대효과로 어장환경의 향상, 어장 면적의 확대 등에 의한 생산량의 증가, 품질의 향상 등에 의해 부가가치액이 증가하는 효과이다.
- 편익액 산정과 관련하여 사업에 의한 어장환경개선, 어장면적 확대 등에 의해 생산량이 증가한 경우에는 증가 생산량에 의한 부가가치액(순 증가 생산액)을 편익액으로 한다.

※ 사업의 주목적 외의 것이라도 실태로서 상정된 효과, 즉 다음의 사례는 편익의 일부로 산정한다.

- 어초설치 사업에 있어서 어초 효과범위 이외에서의 생산량 증가효과

나. 편익액 산정식

$$\square \text{ 편익액(천원/년)} = \text{년간 증가생산량(톤/년)} \times \text{평균단가(천원/톤)}$$

- 증가생산량에 수반되는 연간어업경비(천원/년)

가. 연간 증가생산량(톤/년)

- 증가 생산량은 사업실시 전, 사업실시지구의 생산량(구체적으로는 과거 5년의 평균 생산량)을 기준으로 하여 타의 요인이 불변인 것으로 가정하여 사업실시에 의한 증가량을 산정한다. 단지 사업을 실시하지 않는 경우라도 천연자원의 변동, 환경오염 진행 등의 요인에 의해 지역의 생산량이 증가 또는 감소가 예측될 경우, 이 예측생산량을 기준으로 하여 증가량을 산정한다.
- 연간 증가생산량의 산정근거는 사업실시지구에서의 조사연구에 기초한 자료를 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 타지역, 시·도에 의한 신뢰성 있는 자료가 있을 경우 이것을 사용해도 좋다. 사업실시지구에 있어서 과거 유사사업이 실시된 경우에는 당해사업의 효과파악에 노력하고 사전평가에 필요한 충분한 자료가 축적될 경우에는 이것을 연간 증가생산량의 산정에 근거한다.

나. 평균단가

- 대상어종의 과거 5년간의 평균단가로 한다. 그러나 과거 5년간의 자료를 이용할수 없는 경우 최근의 수치를 이용해도 좋다.

다. 증가생산량에 수반되는 연간어업경비(천원/년)

- 증가생산량을 얻기 위해 필요한 어업경비로 증가생산금액 × 당해어업종류별 직접경비율로 산정해도 좋다. 경비율은 과거 5년간의 평균 경비율로 한다. 단지, 과거 5년간의 자료를 이용할 수 없는 경우 최근의 자료를 이용해도 좋다.
- 직접경비는 감가상각비, 견적가족노임, 교제비·복리후생비 등을 제외한 생산량·금액의 변동에 따라 변동하는 경비(변동어업경비)로 한다. 또한 방류효과를 포함해서 증가생산량을 산정하는 경우에는 증가 생산금액으로부터 방류비용을 뺀다.

$$\ast \text{ 연간어업경비} = \text{년간증가생산금액} \times \text{당해어업종류별 변동어업경비율}$$

+ 연간방류비용

2. 어업노동개선 효과의 편익액 산정방법

가. 어초시간단축효과(항해시간 단축)

(1) 편익액 산정 접근방법

- 인공어초가 근접위치에 형성되어 어장까지의 항해 시간이 단축될 경우 단축시간의 시간가치를 편익으로 산정한다.
- 인공어초를 이용하는 어업종류는 복수의 어장을 갖고 어종, 어기, 천후(기후)와 어장에서 얻어지는 어획금액(정확히는 어업소득)등을 고려하여 어장을 선택한다. 기본적으로는 정비된 인공어초의 어획금액이 다른 어장을 상회할 경우 다른 어장으로부터 이동하는 것이지만, 몇 명이 어느 어장으로부터 몇일 정도 이동할까 사전에 예측하는 것은 곤란하다. 한편, 당해 인공어초의 연간어획금액은 생산량 증대효과로 추계되며 이 어획금액에 상당하는 어업자를 수익자 수로하여 연간 당해 인공어초에서 조업하는 것으로 하여 편익액을 산정한다.
- 편익액은 당해 인공어초를 이용하는 어업종류(증가생산량의 대상 어업종류)마다 산정한다.

(2) 편익액 산정식

$$\square \text{ 편익액(천원/년)} = \text{수익어업자수(인)} \times \text{1인당 연간 감소항해시간 (h/인·년)} \times \text{1시간당 시간가치(천원/시간)}$$

여기서, 1인당 연간 감소항해시간 = (사업전의 평균항해시간 - 당해인공어초까지의 항해시간) × 연간 평균출어일수

(가) 편익 어업자수(인)

- 수익어업자 수는 증가어획금액(천원/년) ÷ 1통당 평균어획금액(천원/년·통) × 1통당 평균승선인원(인/통)으로 산정
- 증가어획금액, 1통당 평균어획금액, 1통당 평균승선수는 당해 인공어초를 이용하는 어업종류마다 산정한다.
- 증가 어획금액은 생산량 증가에 의한 부가가치액의 증가로 산정된 당해 인공어초의 증가 어획금액을 사용하여 1통당 평균어획금액, 1통당 평균 승선수는 실태조사로 파악한다.

(나) 1인당 연간 감소항해시간(시간/인·년)

- 1인당 연간 감소항해시간 = (사업전의 평균항해시간(시간/일) - 당해인공어초까지의 항해시간(시간/일) × 연간 평균출어일수(일/인·년)으로 산정한다.
- 항해시간은 왕복으로 계산한다.
- 사업전의 항해시간은 이용어업종류마다의 평균항해시간으로 한다. 평균 항해시간은 당해 어업종류별로 어장을 대별하여 어장의존도(기본적으로는 출어일수, 곤란한 경우에는 어획 금액비)에 의한 가중 평균으로 한다.

※ 평균항해시간(시간) = (∑어장별(大區分)항해시간×어장별 출어일수) ÷ 총 출어일수

(다) 1시간당 시간가치(천원/시간)

- 1시간당 시간가치는 수익업자의 1인 1시간당 어업소득으로 한다.
- 1인 시간당 어업소득(천원/시간) = 1통당 평균어획금액 × 소득율(선원고용노임은 경비뿐만 아니고 소득에 포함) ÷ 1통당 평균총어로시간으로 산정한다.

표 12. 항해시간의 단축편익액 산정 예

算 定 項 目		受益漁業種類		
		一本釣		計
A 增加漁獲金額	천원/년	A		
B 1統當平均漁獲金額	천원/통, 년	B		
C 1統當平均垂組員數	인/통	C		
D 受益漁業者數	인	$D = A \div B \times C$		
E 事業前平均航行時間 (往復)	h/일	E		
F 當該人工魚礁까지의 航行時間 (往復)	h/일	F		
G 年間平均出漁日數	일/인, 년	G		
H 1人當年間減少航行時間	h/인, 년	$H = (E-F) \times G$		
I 1時間當漁業所得 (時間價值)	천원/h	I		
J 年間便益額	천원/年	$J = D \times H \times I$		

3. 어업경비감소 효과의 편익액 산정방법

가. 경영경비 감소효과

(1) 항해시간단축에 의한 연료비 등의 감소

(2) 편익액 산정 접근방법

- 인공어초가 근접위치에 형성되어 어장까지의 항해시간이 단축될 경우, 항해시간의 단축에 의한 연료비 등의 경비감소액을 편익액으로 산정한다.
- 편익액 산정방법은 항해시간 단축과 동일하다.

나. 편익액 산정

$$\square \text{ 편익액(천원/년)} = \text{수익통수(통)} \times \text{1통당 연간감소항해시간(시간/통·년)} \times \text{1통, 1 시간당 어업경비(연료비등, 천원/시간)}$$

여기서, 1통당 연간감소 항해시간 = (사업전의 평균항해시간 - 당해 인공어초까지의 항해시간) × 연간 평균출어일수

(1) 수익통수(통), 1통당 연간 감소 항해시간(시간/통·년)

- 산정방법은 항해시간 단축과 동일하다.

(2) 1통 1시간당 어업경비(천원/시간)

- 항해시간의 단축에 의해 감소하는 어업경비로는 기본적으로 연료비다. 그 외 선도유지를 위한 어선의 어름 費用代價가 감소하는 경우도 있다.
- 1시간당 연료비는 당해 인공어초를 이용하는 어업종류별 평균적 어선의 항해중 마력수 × 1마력 1시간당 연료소비량(연료소비율 ÷ 유류중량)으로 산정

특별한 이유가 없는 한, 다음 연료 소비율은 사용해도 좋다.

※ 디젤기관 100마력 미만의 연료소비율 : 0.2 (0.17~0.23)kg/ps·h

100마력 미만의 연료소비율 : 0.15 (0.14~0.17)kg/ps·h

윤 활 유 : 연료의 2% (1~3%)

※ 중 유 : 중유 860kg/m³, 경유 840kg/m³

윤 활 유 : 870kg/m³

※ 항해 중의 출력 마력 : 정격출력의 80%

(2) 증식기능을 갖는 보육초 비용편익분석

제 1 장 목적 및 용어 정의

1. 목적

어초의 증식기능에 대한 사업효과를 계측하는 데 목적이 있다.

2. 성격

인공어초의 증식기능(먹이장, 은신처, 휴식장, 산란장)은 정량적으로 파악하여 화폐단위로 직접적으로 나타내는 것은 어렵다. 수심이 얇은 곳에 시설되는 증식구조물(어초)은 먹이공급을 목적으로 하는 것이기 때문에 먹이공급효과를 중심으로 기술한다.

3. 용어 정의

- 증식구조물 : 먹이공급 등 어초의 증식기능 증대를 목적으로 하여 시설되는 어초 (기와초, 석재초, 굴패각어초 등)
- 먹이동물 : 어류 등의 먹이로 되는 모든 동물
- 선호성 먹이(餌料) : 먹이로서 가치가 높은 먹이동물. 본 지침에서는 절족동물 연갑류(새우, 게 등), 환형동물 다모류(갯지렁이류 등)
- 그외 먹이동물 : 선호성 먹이동물로 가치가 적은 해면동물, 촉수동물, 원색동물을 제외한 동물. 본 메뉴얼에서는 극피동물, 편형동물, 연체동물, 연갑류 이외의 절족동물.

5. 증식효과, 증식구조물의 평가방법

가. 증식효과의 취급

유용수산자원의 성장촉진, 유치자어의 생산을 향상, 산란·부화량의 증가, 해조의 증식에 수반되는 효과 등의 증식기능에 의한 효과는 중복되지 않는 범위에서 통상의 어초 효과 (생산증대효과, 출하과정에 있어서의 생산량 증대효과, 항해시간 단축 등 비용저감 효과 등)에 가산하여 평가한다.

나. 증식구조물의 평가

증식구조물에 의한 먹이공급효과는 최종적으로 어초전체의 어군의 위집량, 어획량의 증가로 귀결됨. 증식구조물에 의한 어획량 자료는 거의 없기 때문에 그의 생산효과는 어초생산량(kg/空m)효과 등에 증식구조물의 먹이공급효과를 별도로 계측하여 가산한다.

다. 費用對 效果분석 방법

(1) 평가기준

화폐가치로 환산할 수 있는 효과(편익)에 대해서는 아래와 같이 구하고, 총비용(C), 총편익(B)은 분석대상 기간의 매연도마다 계측한 비용 및 편익의 합으로 하며, 년도의 비용, 편익과 함께 사회적 할인율을 이용하여 기준년의 가치를 현재가치화한다.

- a 비용편익비율 (CBR) = B/C
- b 순현재가치 (NPV) = B-C
- c 내부수익률 (IRR) = B/C가 1.0으로 되는 할인율
- 총비용 (C) = $\sum (C_n \times R_n)$
- 총편익 (B) = $\sum (B_n \times R_n)$

C_n : 기준년으로부터 n년후의 연도에 요하는 비용

B_n : 기준년으로부터 n년후의 연도에 발생하는 편익

R_n : 기준년으로부터 n년후의 연도의 사회적 할인율을 고려한 계수

(2) 사회적 할인율과 현재가치화의 기준년

사회적 할인율은 0.04로 한다.

(3) 분석 대상기간

어초의 설계연수와 동일한 30년으로 한다.

(4) 증식구조물의 먹이공급효과 편익의 계측방법

$\begin{aligned} \text{년간편익액(천원/년)} &= \text{증식구조물에 의한 增加魚體重 (kg/년)} \\ &\quad \times \text{평균가격(천원/kg)} \\ \text{증식구조물에 의한 增加魚體重} &= \text{增加餌料動物生産量(kg/년)} \times \text{利用率} \times \\ &\quad \text{餌料轉換效率 增加餌料動物生産量} = (\text{kg}) \times [\text{년간생산량/현존량}] \end{aligned}$
--

증식구조물에 의한 먹이공급효과 연간편익액을 계측하는 방법으로 ①증식구조물에 의한 증가 魚體重으로부터 계측하는 방법 외에 ②증식구조물에 의한 위집가능량(=1일당 먹이동물 공급량 × 위집동물 연간 섭이량), ③증식구조물에 의한 증가위집량(=어초의 먹이효과에 의한 어군위집량 × 증식구조물 먹이 증가비용) 등의 세 방법에 대해서 검토한 결과 C의 방법은 화폐화가 곤란해서 기각했다. ①, ②의 방법은 기본적으로 동일한 생각이지만, 간편하고 필요한 원단위가 얻기 쉬운 ①를 먹이공급 효과의 계측방법으로 하였다.

(가) 먹이현존량을 나타내는 기본지표

먹이현존량을 나타내는 기본지표는 먹이동물 습중량으로 한다. 또한 그 원단위(환산 등에 사용하는 단위먹이습중량)는 어초 등의 표면에 부착하는 동물로 kg/표면적m² 굴패 각어초 등 공급에 잠입하는 동물은 kg/체적m³으로 나타내고 그 합계는 kg/기(경제적으로는 비용액)로 표시한다. 편익산정에 필요한 먹이산정량은 연간생산량이며, 간단하게는 현존량(연간생산량/현존량)비율로 추계한다.

이 경우 현존량은 연간평균현존량을 사용하고 있는 사례가 많으며(연간생산량/연평균현존량)비율도 원단위로 결정할 수 있다고 생각하기 때문에 기본적으로 연평균 현존량을 사용한다. 즉, (연간생산량/연최대현존량)비율 등 연간생산량 추계에 필요한 데이터가 명확하지 않는 경우에는 연간최대 현존량으로부터 연간생산량을 추계해도 좋다.

(나) 대상먹이

현존량을 계측하는 대상먹이는 위집어류의 먹이로되는 동물로 하고 특별한 이유가 없는한 해면동물, 촉수동물, 원색동물을 제외한 동물을 대상으로함.

① 먹이가치로 본 부착·잠입동물은 다음 3가지로 대별된다.

- A. 선호성 먹이동물 : 먹이로써 바람직한 먹이가치가 높은 절족동물 연갑류(새우, 게 등)과 환형동물 다모류(갯지렁이 등)
- B. 그 외 먹이동물 : 극피동물, 편형동물, 연체동물(패류 등), 상기 A와 하기 C이외의 동물
- C. 먹이가치가 없다고 여겨지는 동물 : 해면동물, 촉수동물, 원색동물(우렁쉥이류 등)

② 어초나 증식구조물의 부착잠입동물

어초 등의 표면(콘크리트 표면 등)에 부착하는 동물을 습중량으로 보면은 말미잘류, 패류 등이 많다. 표면 부착형 구조물에서의 조사사례를 보면 말미잘류가 먹이동물 습중량의 80~90 %를 점하고 선호성 먹이동물은 수 %에 불과하다. 한편 패각초, 기와초 등의 내부잠입형 구조물에서는 패류, 말미잘류 등과 함께 다모류, 연갑류 등의 선호성 먹이 동물이 많다.

③ 계측 대상 먹이

어초에 위집한 어류의 내용물 조사사례에서는 연갑류(새우, 게류 등)과 다모류(갯지렁이류)등의 출현율이 높지만, 감성돔, 돌돔, 쥐치류 등에서는 패류, 말미잘류 등도 먹이로

하고 있다. 따라서 먹이가치가 없다고 여겨지는 해면동물, 촉수동물, 원색동물을 제외한 부착잡입동물을 먹이동물로하여 계측대상으로 한다.

(다) 먹이현존량과 그의 계측시기

먹이 현존량은 어초 시설 후 대략 1년 이상 경과한 후에 조사한다.

(라) 이용율, 연간생산량/현존량의 비, 먹이전환효율

특별한 이유가 없는 한 이용율=1, 연간생산량/연평균현존량비(P/B_{AVE}) 먹이전환효율=0.13을 사용한다.

IV. 결론

1. 통영바다목장 내의 시설된 어초에 대한 특성연구

가. 재질별 (콘크리트, 강재) 시설 어초종류 분석

통영바다목장 내에 1999년부터 2003년까지 시설된 연구어초 25종에 대한 재질별 시설율은 강제어초가 17종(68%)으로 가장 많고, 그 다음은 선박어초 3종 (12%), 콘크리트어초 2종(8%)순이다. 한편, 연구어초 중 치수(규격)가 확실한 17종에 대한 어초의 높이 범위는 2.0~10.0 m이며, 높이별 비율은 2.0~3.0 m의 어초가 52.9 %(9종)로 가장 많았고, 그 다음은 6, 7, 10 m의 것으로 각각 11.8 %(2종)를 차지하였다.

나. 바다목장 내의 수심대별 강제어초의 열화특성 분석

(1) 10 m 이하에 시설된 연약지반형강제어초

수심 6 m의 곳에 시설(2002년 3월)된 연약지반형강제어초는 잠수조사 결과, 어초의 전면에 부착생물이 많이 부착되어 있었으며, 꺾었을 때 표면은 약간 검은 색을 띠고 있어 부식은 되지 않은 것으로 관찰되었다.

(2) 10~20 m 사이에 시설된 신형강제어초

수심 19 m의 곳에 시설(2002년 12월)된 신형강제어초에 대해서는 태구조인 점을 감안하여 열화의 특성을 수직적으로 분석하였다. 윗 부분의 경우, 패각질과 부니로 덮여 있었으며, 부착생물을 칼 등으로 떼어 냈을 때, 강제의 표면부분이 부착생물의 부착면과 함께 일부 박리되었다. 중간 부분의 경우, 어초의 중앙부에 위치한 H 빔은 표면부근에 군데 군데 붉은 색을 띠고 있었으며, 손으로 꺾었을 때, 붉은 색의 물질이 물속으로 현탁되었다.

(3) 수심 21 m에 시설된 피라밋강제어초

수심 21 m에 시설(2003년 12월)된 태구조인 피라밋강제어초는 윗부분의 경우, 패각질과 부니로 덮여 있었으며, 평판부분은 붉은 색을 띠고 있는 부분이 많았다. 부착생물이 단단히 부착되어 있는 곳을 강제로 꺾었을 때는 강판 표면은 약간 검은색을 띠어 부식을 일어나지 않은 것으로 판단되었다.

(4) 수심 25 m에 시설된 상자형콘크리트어초

수심 25 m에 시설(2000년 10월)된 상자형콘크리트어초의 경우 어초 저면에서 콘크리트 표면의 균열 등은 관찰되지 않았고, 어초 표면은 부착생물로 피복되어 있었다.

2. 통영바다목장 내의 수심 40 m 이심에 시설된 다기능고층어초의 효과연구 가. 다기능고층어초의 수직, 수평 공간별 위집어종 분석

(1) 다기능고층어초의 구조형태

본 연구에서 사용된 다기능고층어초는 그 높이가 15 m의 것으로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 강재를 사용하여 어초를 피라미트 형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임과 중층프레임 및 하층프레임으로 3원화시킴으로서, 하층프레임에는 조피볼락, 쥐노래미, 쏨뱅이, 넙치 등과 같은 주축성 어류를 위한 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔, 돌돔, 감성돔, 농어 등과 같은 보목표성 어류를 위한 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다. 또한 상층프레임에는 방어, 삼치, 고등어, 전갱이 등과 같은 회유성 어류를 위한 체류공간을 제공할 수 있도록 설계하였다.

(2) 다기능고층어초에서의 잠수관찰에 의한 위집어종 분석

(가) 2006년 11월 28일 조사

다기능고층어초의 각 부분별 어류 위집을 보면, 어초 윗부분에 해당하는 10~15 m (수심 28~33 m)의 어초지붕부분에 약 20 cm 정도의 조피볼락이 유영하고 있었다. 그리고 어초의 5~10 m(수심 33~38 m)의 중간부분과 어초의 0~5 m(수심 38~43 m)의 아래 부분에 위치하는 H빔, L형강, 경사강판의 부분에서는 위집된 어류는 관찰되지 않았다.

(나) 2007년 2월 24일 조사

다기능고층어초 저면에 부착된 흙관 주위에서 조피볼락 2미를 발견하였다. 시야는 1.5 m 정도였으며, H빔이 경사판재 보다 부착생물의 서식량이 많은 것으로 관찰되었다. 경사판 안쪽과 바깥쪽 간의 부착생물의 차이는 거의 없었으며, 경사판의 표면에 빨간 물질이 관찰되었고, 경사판 안쪽에서 쥐노래미 1미가 유영하며 지나갔다.

(다) 2007년 4월 27일 조사

어초의 저면을 유영하면서 세굴을 확인하였으나 관찰되지 않았다. 12:33분경에 흙관 저면에서 볼락, 조피볼락(2미), 쭈기미, 그리고 흙관 윗부분에서 조피볼락 2미, 흙관 내부에서 쥐노래미 1미가 각각 유영하고 있었으며, 주로 조피볼락 등 어류는 흙관 주위 약 1 m 이내에서 관찰되었다. 시야는 2 m 정도였다.

(라) 다기능고층어초의 어초구조와 위집 어류상 분석

다기능고층어초의 구조는 어초에 반응하는 3가지 형의 모든 어류 즉, 주축성 어류, 보목표성 어류, 회유성 어류 등을 1개의 어초에서 모두 위집시킬 수 있도록 설계되었

다. 조사결과, 주축성 어류, 보목표성 어류는 위집이 확인되었으나, 회유성 어종은 확인되지 않았다.

나. 다기능고층어초의 어획효과

(1) 어종 수 및 어초성 분석

다기능고층어초에서 어획된 어종은 조피볼락, 넙치, 불볼락, 참돔, 말쥐치, 아귀, 문치가자미 등 17종이었고, 이들 어종에 어초에 대한 반응형태를 분석한 결과, 주축성 어종(I형)은 조피볼락, 넙치 등 2종이었고, 보목표성 어종(II형)은 참돔, 불볼락, 말쥐치 등 6종이었으며, 어초에 반응하는 형태가 일정치 않은 기타 어종도 아귀, 문치가자미 등 9종이나 되었다.

(2) 어획량 분석

다기능고층어초에서 삼중자망에 의한 폭당 어획량은 4.6 kg이었으며, 주요 어획종은 조피볼락과 참돔으로 이들 어종이 전체 어획량의 52.4%를 차지하였다. 조사기간 동안 어획된 조피볼락의 크기를 보면, 17.0~39.0 cm으로 비교적 큰 개체도 어획되었다.

(3) 비용 대비 효과 분석

다기능고층어초에서의 연간증산량(어획량)을 구하면, 1,452 kg이되며, 금액으로 환산하면 연간 14,521,800원이 된다. 이들 결과를 이용하여 비용대비효과(비용편익효과)를 산정한 결과, 사업효과는 1.41로 나타나 다기능고층어초의 투자효과가 비교적 높은 것으로 추정되었다.

다. 다기능고층어초에 작용하는 외력 및 투영면적 분석

전도에 대한 계류력은 5, 10, 20톤, 그리고 계류사의 길이는 수면으로부터 어초 높이까지의 길이에 대한 45°의 대각선 길이로 하여 33 m로 하는 등 계류력을 각각 달리하여 전도모멘트 값을 구하면 계류력 5톤의 경우 16.8톤, 계류력 10톤의 경우 33.5톤이 된다. 따라서 다기능고층어초의 수중무게는 53톤이므로 계류력 20톤까지는 안전하다고 할 수 있다.

라. 다기능고층어초의 생산성 분석기법 검토

다기능고층어초와 같이 높이가 높은 어초에는 주축성, 보목표성, 회유성 어종 등 어초에 반응하는 모든 어류를 대상으로 하기 때문에 삼중자망과 같은 특정어구만을 이용하여 효과를 평가하는 것은 많은 오류를 범할 수가 있다. 따라서 어초의 효과를 평가하기 위해서는 적절한 방법을 선정해야 한다. 본 연구에서는 잠수조사와 ROV에 의한 조사만을 기술하였다.

3. 통영바다목장해역에 적합한 인공어초어장조성 기술지침서 작성

본 연구에서는 인공어초어장조성 기술지침서와 관련하여 인공어초시설 및 관리 매뉴얼, 강제어초 제작 매뉴얼, 인공어초 비용편익분석 매뉴얼 등에 대해서 기술하였다.

참고문헌

- Kim, C.G. 2001. Artificial reefs in Korea. Amer. Fish. Soci. 26 (12) 15-18.
- Kim, C.G., H.S. Kim, C.I. Baik, H. Kakimoto and W. Seaman, Design of ocean habitat improvement structures and their effectiveness in the fisheries of eastern Asia, Proceeding of 4th World Fisheries Congress. Vancouver, 567-587, 2006.
- 全國沿岸漁業振興開發協會, 1986. 沿岸漁場整備開發事業 人工魚礁漁場造成計劃指針, 5-47.
- 正田良次, 村上周三, 勝田高司. 1970. 風を受ける建物周囲の空氣力學, 日本建築學會講演集. 日本鋼材俱樂部. 鋼製魚礁技術マニュアル. 127p.
- 日本水産廳. 2005. 魚礁原單位調査マニュアル濡 (案), 1-17.
- 日本宮城縣, 1986. 宮城中部海域總合開發事業調査報告書, 645-654.
- 日本農林水産技術會議事務局, 1989. 海洋牧場, 601-617.
- 新潟縣水産試驗場. 1985. 新潟縣沿岸域における人工魚礁の總合的研究と事業. 1-223.
- 김 창길, 정의철, 김호상, 1999. 통영해역 바다목장화 연구 개발 용역 사업 보고, 국립수산진흥원, 58 p.
- 김 창길, 김 호상, 백 철인, 정 도훈, 2004. 통영해역 바다목장화 연구 개발 용역 사업 보고, 국립수산과학원, 112 p.
- 김 창길, 김 호상. 2006. 우리나라 바다목장 현재와 미래. 해양수산부. 11-16.