

통발 어구를 이용한 서해 경기만 사각형어초 시설의 효과 평가

유재원* · 이만우 · 이창근 · 김창수 · 김정수 · 홍재상¹
한국연안환경생태연구소, ¹인하대학교 해양학과

Evaluation of the effect of cubic artificial reefs in Kyonggi Bay, west coast of Korea by using fish trap

Jae-won YOO*, **Man-woo LEE**, **Chang-gun LEE**, **Chang-soo KIM**,
Jung-soo KIM and **Jae-sang HONG**¹

*Korea Institute of Coastal Ecology, Inc., 205-1, Juan 1-dong, Nam-gu,
Incheon 402-835, Korea*

¹*Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea*

In the autumn of 2000 and spring of 2001, field surveys were conducted to estimate the effectiveness of artificial reefs (type cube, $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$) that were established in the four islands of Bangnyeong, Socheong, Daeyeonpyeong and Ganghwa in Kyonggi Bay, the west coast of Korea during 1995 and 1996. The condition of reefs was examined through SCUBA diving and a side-scan sonar. Much of the reefs in Daeyeonpyeong and Ganghwa area were buried in bottom sediment. Despite an intensive search in Bangnyeong area, even a cluster of reefs was not found and most of them seemed to be buried by sand waves. Thus an appropriate investigation on the sediment transport should be included in pre-assessment for the expected performance and protection of artificial reefs. Distribution of average CPUE in natural fishing ground (control) was estimated by bootstrapping simulation and possible comparison of CPUE between control and reef areas (treatment) were made in Bangnyeong and Socheong (Experiment I). Positive reef effect was detected in Socheong but CPUE of treatment in Bangnyeong was varied between or lower than the 99% CPUE confidence intervals of the control. Control/treatment abundance and biomass of fishes and invertebrates were tested by paired t-test and sign test (Experiment II). Only four cases among 22 showed significant positive effect. Based on the results, the cube artificial reef in Socheong was inferred as an affirmative one. Floor type was hypothesized to be one of the probable agents in determining the effectiveness of artificial reefs.

Key words : Artificial reef effect, CPUE, Kyonggi Bay, Side-scan sonar, Fish trap

*Corresponding author: jwyoo23@hitel.net, Tel: 82-32-865-4843~4, Fax: 82-32-865-4845

서 론

인공어초는 상대적으로 생산력이 낮은 해역의 수산 자원량을 증대시키는 역할을 한다(Rutecki et al., 1985). 따라서 어류와 무척추동물 등이 군락을 형성하는 생태적 특성을 이용, 수중에 인위적으로 구조물을 설치하여 자원생물의 산란장, 섭이장 및 서식장을 제공, 어장을 형성시키며, 이를 통하여 궁극적으로는 환경 수용력(carrying capacity)과 수산 자원량을 증대하려는 목적으로 시설되고 있다(Gyeonggi-do, 1999).

가까운 일본의 경우만 해도, 인공어초의 역사는 수세기에 이르며, 연안역에는 1970년 기준으로 약 4,000 군데에 시설되었다(Ino, 1974). 한국은 1971년부터 인공어초를 시설, 2004년까지 6,499억원을 투자하여 전국 연안에 18.2만 ha의 새로운 어초 어장을 조성하였다(NFRDI, 2005). 이렇듯 인공어초 사업에는 막대한 예산이 투입되었으므로 어초어장 조성사업이 성공적 실효성을 거두고 있는지, 연근해 수산자원의 자원량 증강에 효과가 있는지 등의 여부에 대하여 반드시 정밀 조사되어야 한다.

경기만과 인천 연안에서 행해진 최근의 두 연구(IMC, 1997; Gyeonggi-do, 1999)에서는 어초의 효과가 일반 어장의 50% 수준이거나 효과가 있더라도 평균 123% 정도인 것으로 조사되었다. 전라북도 군산과 부안에 시설된 사각형어초의 경우, 통발을 기준으로 비 시설구 대비 어초 시설구의 마리수와 생체량의 효과는 150-170%인 것으로 나타났다(KNU, 1999). 제주도의 북촌, 하도, 신도 등지에서 행해진 어초 효과조사에서는 3중 자망을 사용하였으며, 비 시설구 대비 어초 시설구의 마리수의 효과는 47%, 생체량의 효과는 128%인 것으로 나타났다(CNU, 2000). 조사 방법에 다소 차이가 있겠으나, 외국의 경우에는 일반 자연어장에 비해 인공어초 시설 어장의 어류 현존량(standing crops)이 1,100%에 달하는 것으로 보고된 바 있다(Randall, 1963). 이에 일부 국내 연구진에 의해 제시된 측정치를 비교하면

국내 시설 어초의 효과가 뛰어나다고는 보기 힘든 것으로 추정된다.

본 조사는 인천 연안과 경기만에 위치한 백령도, 소청도, 대연평도, 강화도의 4개 인공어초 시설의 보존 상태와 효과 검정 그리고 어초의 효과와 관련된 변수 등을 파악하기 위한 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

조사해역 인공어초 시설 현황과 보존 상태

인천광역시에서 Fig. 1과 같이 백령도, 소청도, 대연평도, 강화도에 조성한 인공어초 해역의 총면적은 448ha이며, 2,800개의 사각형어초가 시설되었다.

투하된 사각형어초는 한 변의 길이가 2m인 정육면체로 각 면은 비어있고, 각 변만 콘크리트 골격으로 되어 있는 테 구조를 가진 것으로 우리나라에서 시설되는 어초 가운데 가장 일반적인 어초 형태이다.

백령도와 소청도 해역의 어초는 1995년에 시설되었으며, 사업 면적과 물량은 각각 80ha, 500개와 48ha, 300개이며, 설치 수심은 40m 이심이다. 1996년에 시설된 대연평도와 강화도 해역의 사업면적과 물량은 각각 220ha, 1,375개와 100ha, 625개이며, 설치 수심은 약 20m이다.

어초의 탐색과 보존상태의 관찰은 잠수 스쿠버 다이빙과 사이드 스캔 소나(SIS-1500, Benthos Co.) 그리고 어선에 장착된 어군 탐지기 등을 이용하였다. 대연평도와 강화도 해역에서는 측방수중 음파탐지기를 이용하여 어초의 위치를 파악하였으며, 확인된 인공어초 시설지에 조사선의 닻을 내려 잠수부가 이것을 이용, 입수하여 어초의 시설형태를 확인하였다. 소청도 해역의 경우에는 어군 탐지기로 3개 단위 어초를 찾을 수 있었으나, 수심이 깊어 잠수에 의한 관찰은 불가능하였다. 수심이 깊은 백령도 해역의 경우, 어군 탐지기에 의존한 일주일간의 어초 탐색에서 단 1개의 단위어초도 찾지 못하였고, 그 탐색

결과는 IMC(2001)에 자세히 수록되어 있다. 어초 시설 해역 내 여러 단위어초의 위치는 최초 시설 당시의 위치와 다소 차이가 있었으나, 대부분은 시설 해역 내에 존재하고 있었다.

어초가 위치한 곳의 퇴적물 입도를 분석하기 위하여 각 조사지역의 어초 주변에서 시료를 채집하였다. 퇴적물 시료는 염분, 유기물, 탄산염을 제거한 후 4 ϕ 이상의 세립질 퇴적물은 습식체질을 통하여, 4 ϕ 이하의 조립질 퇴적물은 건식체질을 통하여 각 입도별 시료의 질량을 측정하였다. 평균 입도는 Folk and Ward(1957)의 식을 이용하여 구하였다.

표본 채집 계획과 분석 방법

어초 효과의 검정을 위한 분석은 아래의 2가지 실험 계획과 분석 방법을 따랐고, 각 지역별 조사일정은 Table 1과 같다.

실험 I은 일차적으로 어초가 없는 자연어장(이하 대조구라 한다)에서의 단위 노력당 어획량의 분포 패턴을 파악하기 위한 것으로 통발 1조(20개)에서 채집되는 어류 마리수의 평균값과 표본 분포양상을 추정하였다(Fig. 1). 무척추동물 제외한 이유는 실험 I의 표본에 대한 종 동정과 마리수 측정이 선상에서 이루어질 수밖에 없었기 때문이다. 이러한 방식으로 측정된 어류 마리수 자료에 부트스트랩 시뮬레이션을 적용하였으며, 이 기법은 비교적 최근에 개발된 것으로서, Diaconis and Efron(1983)에 그 방법과 응용 범위가 잘 소개되어 있다. 이 기법은 평균치와 같은 통계 추정치의 표본 분포를 자료의 본래 특성에 기초하여 재구성하는 것이며, 특히 본 어획

자료와 같이 표본의 분포 특성이 잘 알려지지 않은 자료의 분석에 유용하게 사용될 수 있는 방법이다. 부트스트랩 분석 과정에서 시료의 반복추출 횟수는 1,000으로 하고, 표본의 크기는 원자료와 동일하게 하여 자료의 평균값과 신뢰 구간 그리고 히스토그램을 작성하였다.

인공어초 어장(이하 시설구라 한다)의 자료에는 부트스트랩 분석을 적용하지 않았는데, 이는 일부 해역의 시설구에서 조업이 이루어지지 않았기 때문이다. 시설구로부터 표본 채집이 가능했던 일부 해역의 경우 평균을 계산하여 부트스트랩 분석으로부터 추정된 대조구의 표본 평균 분포와 비교하여 어초의 효과를 추정하였다. 시설구와 대조구의 표본을 섞어 시료를 반복 추출하는 것은 시설구가 일종의 간섭을 받은 곳이라 할 수 있으므로 바람직하지 않은 것으로 판단하였다. 대조구의 표본으로는 어초 시설지역과 최소 2km 이상 떨어진 곳에서 어민들의 작업에 의해 어획되는 것만을 취하였는데(Fig. 1), 이는 어초의 영향이 넓게는 1km까지 미칠 수 있다는 Mottet(1985)의 추정을 참고한 것이다.

백령도 해역에서는 2000년 10월과 2001년 4월의 2회에 걸친 채집을 하였으며, 대조구 정점수는 각각 5개와 6개였다. 통발의 수는 2.2 - 3.2조의 범위였다. 소청도와 대연평도 그리고 강화도 해역에서의 채집은 2001년 4월 - 5월에 각각 1회씩 행해졌으며, 정점의 수는 각각 5, 6, 3개, 그리고 통발의 수는 각각 2.9 - 3.0, 2.5 - 3.0 그리고 2.5 - 2.6조 이었다.

실험 II는 대조구와 시설구 간 비교를 통하여 어초효과를 검정하기 위한 목적으로 수행된 것

Table 1. Time tables of the artificial reef survey

Location	Reef environmental survey	Experiment I (CPUE estimation; partial comparison of reef effect)	Experiment II (Reef effect test)
Baengnyeong	Oct. 2000, Apr. 2001	Oct. 2000, Apr. 2001	Oct. 2000, Apr. 2001
Socheong	Oct. 2000, Apr. 2001	Apr. 2001	Oct. 2000, Apr. 2001
Daeyeonpyeong	Dec. 2000, Apr. 2001	Apr. 2001	Apr. 2001
Ganghwa	Oct. 2000, May 2001	May 2001	May 2001

이며, 실험 I 과는 독립적인 표본을 사용하였다. 분석에는 각 해역의 어초 시설구와 대조구에서 각각 3조의 통발로 24시간 동안 채집한 표본을 이용하였으며(Fig. 1), 1조 단위로 표준화된 어류와 무척추동물의 각 종별 대수변환 마리수와 생체량 자료를 사용하였다. 어류의 출현 종수가 3종 이상인 경우에는 어류 자료만을 별도로 사용하여 유의한 차이의 검정을 수행하였으며, 그 미만인 경우에는 무척추 동물을 포함하여 수행하였다. 대상 자료를 각각 어류와 어류+무척추동물로 구분한 이유는 어초 효과의 일차적인 관심

이 어류에 집중되어 있기 때문에 어류에 미치는 효과를 구분하기 위함이고, 후자는 무척추 동물을 포함한 전반적인 생물상에 어초가 미치는 긍정적인 효과(예를 들어, 서식밀도의 증가, 서식처의 다양화 또는 기질의 다양성 등)를 검정하기 위함이다.

대조구와 시설구 간 유의한 차이를 검정하기 위한 방법으로는 짝을 이룬 자료의 t-검정과 비모수 통계량인 부호 검정을 사용하였다. 전자는 각 어종별 밀도와 생체량의 시설구-대조구 값의 평균이 0 또는 $0 <$ 의 여부를 검정한 것이며

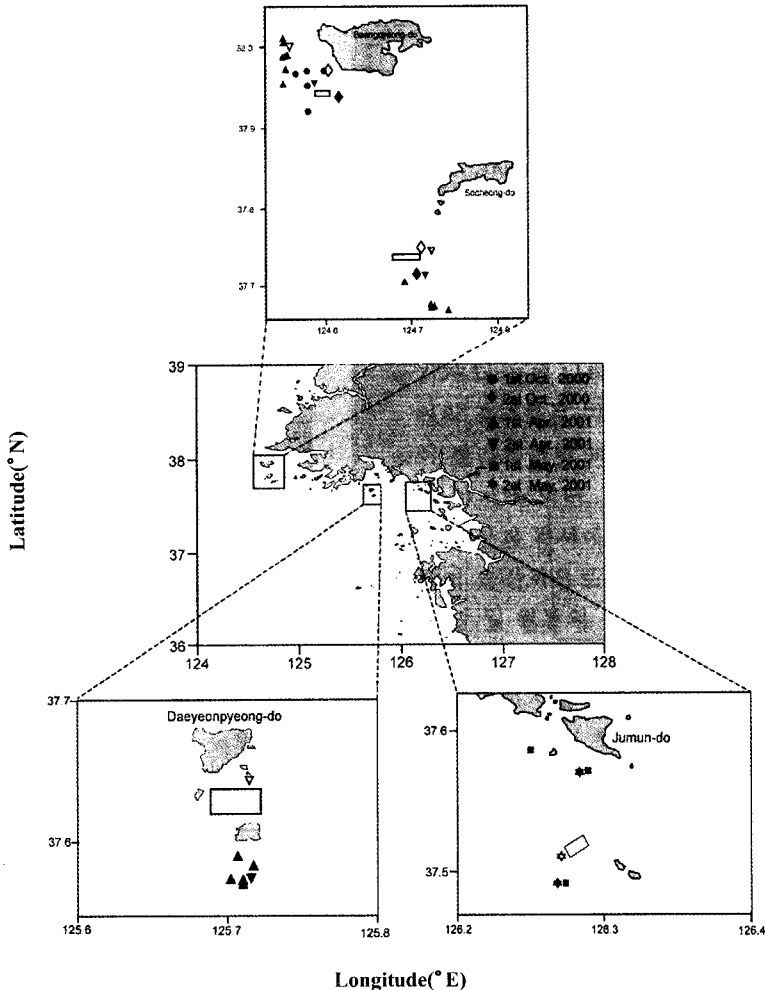


Fig. 1. Sampling location of each experiment-empty diagram are of treatment (artificial reef areas) and solid diagram of control.

후자는 중위수가 0 또는 0 < 의 여부를 검정한 것이다. 후자의 통계량을 사용한 이유는 일부 중의 높은 밀도 또는 생체량 값이 t-통계량의 계산 시 전체 평균에 미칠 수 있는 영향을 감안한 것이다.

결 과

어초의 보존 상태

어초가 설치된 지역의 해저 퇴적상은 소청도 해역의 경우 역질 퇴적상 또는 암반 기질이었으며, 퇴적물 분석이 수행된 세 곳 가운데 대연평도 해역이 1, 2차 조사에서 $\phi 3.9 - 4.6$ 으로 니질이 우세한 세립 퇴적상을 나타내었고, 백령도와 강화도 해역의 경우 $\phi 1.5 - 1.9$ 의 사질이 우세한 조

립 퇴적상을 나타내었다(Fig. 2).

사이드 스캔 소나의 영상자료를 분석하여 어초의 위치와 상태를 파악하였다. 일례로 Fig. 3의 A와 C는 강화도 해역에서 관찰된 해저면의

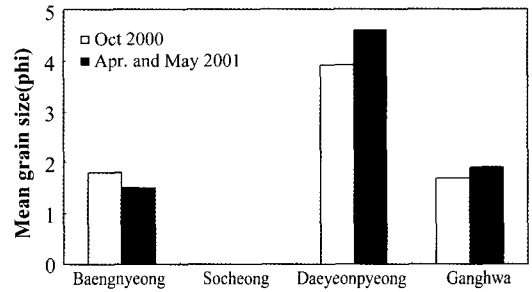


Fig. 2. Estimated mean grain size(ϕ) of bottom substrata at the four artificial reef areas.

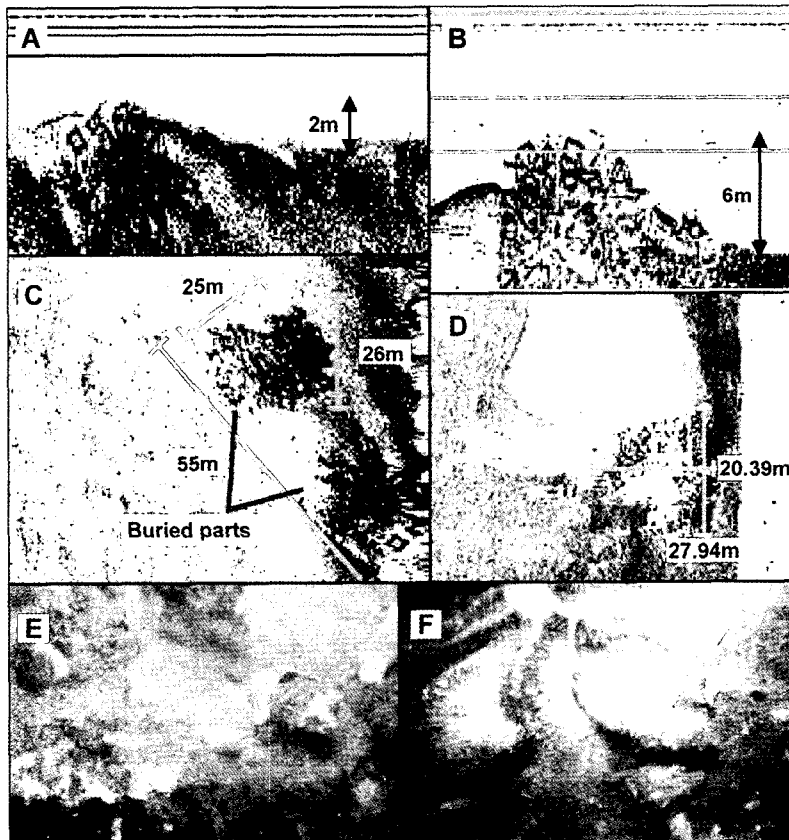


Fig. 3. Vertical and horizontal artificial reef images from side-scan sonar(A - D, courtesy by UST21, Inc.) and reef surface images from underwater camera(E - F) at Ganghwa and Daejeonpyeong area.

단면도와 평면도이다. 단면도 A에서 어초군이 퇴적물 내에 매몰되었음을 볼 수 있으며, 평면도 C를 통해 면적이 약 25×26m²인 어초군이 3m의 높이로 증적되어 있고, 5시 방향으로 어초군이 매몰된 모습을 볼 수 있다. 강화도 해역 영상자료에서는 모래에 덮힌 어초 시설이 높은 빈도로 관찰되었고, 잠수로 재확인 되었다.

Fig. 3의 B와 D는 대연평도 해역에서 관찰된 것으로, 단면도 B는 면적 33×47m², 높이 6m의 비교적 보존 상태가 양호한 어초군의 모습을 보여주고 있다. 평면도 D는 약 28×28m² 면적의 어초군 상당부분이 퇴적물 속에 매몰되어 있음을 보여주는데, 이 또한 잠수 관찰로 재확인 되었다.

소청도 해역의 경우 3개의 단위 어초군이 어군 탐지기에 의해 쉽게 관찰되었고, 현지 어민들의 활용도가 높은 점과 해저면이 암반이나 자갈로 이루어져 있음을 미루어 볼 때 보존 상태가 좋을 것으로 추정할 수 있었다.

백령도 해역의 경우, 높은 강도의 수색작업에도 불구하고 단 1개의 단위어초도 발견하지 못하였다.

강화도와 대연평도 해역에서 행해진 수중 촬영 결과, 어초의 표면에 모래나 니질 입자가 상당량 퇴적된 것으로 나타났다(Fig. 3 E, F).

지역별 자연어장의 어류 종조성

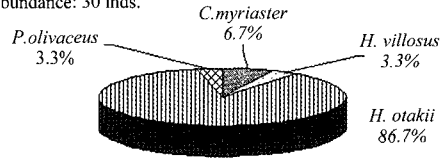
인공어초가 없는 자연어장에서의 어종 파악을 위해 지역별로 현지 어민 조업시에 어획되는 어류의 조성과 양을 조사한 결과, 강화도 해역을 제외한 백령도, 소청도, 대연평도 해역에서 공통적으로 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*)가 우점하는 등 대체로 세 지역의 종 조성상 어획량이 유사하였다(Fig. 4).

2000년 10월 백령도 해역 조업에서는 총 239개의 통발이 사용되어 4종, 30마리의 어류가 채집되었는데, 그 중 87%가 쥐노래미였고, 붕장어(*Conger myriaster*)는 7%에 불과했다. 2001년 4월에는 363개의 통발에서 총 5종, 275마리의 어류

가 채집되었는데, 이 시기에도 역시 쥐노래미가 86%로 가장 우점 하였고, 조피볼락(*Sebastes schlegeli*, 7%), 아작망둑(*Tridentiger trignocephalus*, 4%), 베도라치(*Pholis nebulosus*, 3%), 삼

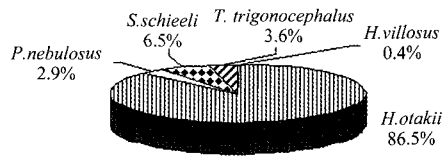
Baengnyeong (Oct. 2001)

No. of traps: 239
Total abundance: 30 inds.



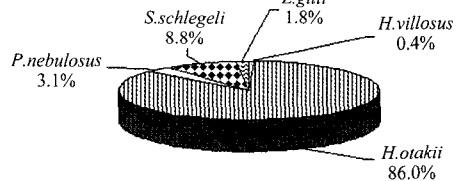
Baengnyeong (Apr. 2001)

No. of traps: 363
Total abundance: 275 inds.



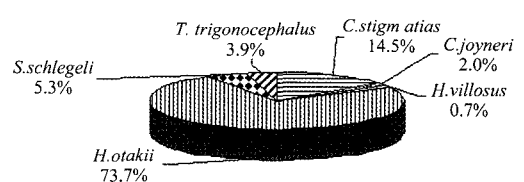
Socheong (Apr. 2001)

No. of traps: 298
Total abundance: 228 inds.



Daeyeonpyeong (Apr. 2001)

No. of traps: 326
Total abundance: 152 inds.



Ganghwa (May 2001)

No. of traps: 154
Total abundance: 1 inds.

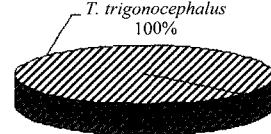


Fig. 4. Species composition of the fish caught by fisherman using fish traps in the control areas, October 2000 and April 2001.

새기(*Hemitripeterus villosus*, 0.4%)가 어획되었다.

2001년 4월 소청도 해역에서는 298개의 통발로부터 총 5종, 228마리의 어류가 채집되었고, 86%의 우점도를 보인 쥐노래미와 함께 조피볼락(9%), 배도라치(3%), 등가시치(*Zoaces gilli*, 2%), 삼세기(0.4%)가 출현하여 백령도 해역의 어종 분포와 유사하였다. 비슷한 시기 대연평도 해역에서는 326개의 통발로부터 총 6종, 152마리의 어류가 채집되었는데, 쥐노래미의 우점도가 74%로 감소하면서 타 해역에서는 출현하지 않은 쉬쉬망둑(*Chaeturichthys stigmatiae*)이 14%로 비교적 많이 채집되었고, 참서대(*Cynoglossus joyneri*, 2%)도 출현하였다. 2001년 5월 강화도 해역에서는 총 154개의 통발로부터 아작망둑 단 1마리만 채집되었다.

자연어장에서의 어류 어획량(밀도) 추정 - 실험 1

현지 어민 조업시에 파악된 어종별 마리수 자료를 부트스트랩 분석을 통하여 단위노력당 어획량의 평균값 분포를 파악해 본 결과, 자연어장에서의 통발 1조 당 평균 어획량 추정치는 백령도와 소청도 해역에서 각각 14.4와 15.4마리로 가장 높았고, 강화도 해역에서 1마리 미만으로 가장 낮았다. 한편, 백령도 해역에서의 조사와 같이 가을과 봄의 어획량을 비교한 경우, 계절에 따라 어획량 추정치가 큰 차이를 보였다(Fig. 5, Table 2). 어획량 추정치의 95% 신뢰구간을 근거로 동일한 시공간에서 조업이 이루어 질 경우, 각 지역별 자연어장에서 통발 1조로 어획할 수 있는 최대 평균 어획량은 백령도 해역 18마리, 소청도 해역 22마리, 대연평도 해역 12마리, 강화도 해역 1마리 미만인 것으로 추정되었다.

한편, 2001년 4월에 소청도 어초 시설구에서 조업한 현지 어민의 통발 1조당 평균 어획량(38마리)은 소청도 자연어장의 평균 어획량 추정치인 9-23마리/조(99% 신뢰구간)를 훨씬 초과하는 값이다. 그러나, 이와는 반대로 백령도 어초 시설구에서의 2000년 10월과 2001년 4월의 어획

량(각각 평균 0과 9마리/조)이 자연어장의 어획량 추정치(각각 평균 0-6과 11-18마리/조, 99% 신뢰구간) 구간 내에 포함되거나 이보다 적었다.

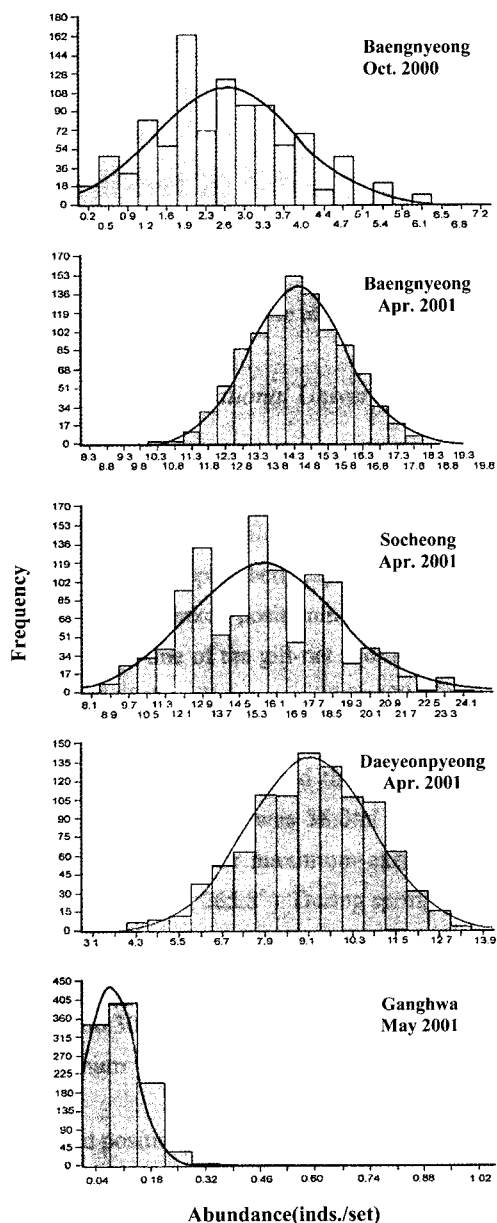


Fig. 5. Expected mean fish abundance (inds./set) distribution in the control areas during October 2000 and 2001.

Table 2. Results of bootstrap simulation to estimate the distribution of mean fish abundance(inds./set)

	Baengnyeong (Oct. 2000)	Baengnyeong (Apr. 2001)	Socheong (Apr. 2001)	Daeyeonpyeong (Apr. 2001)	Ganghwa (May 2001)
Mean	2.66	14.35	15.20	9.15	0.07
Estimator's descriptive statistics					
Mean	2.59	14.35	15.41	9.10	0.07
Bootstrap confidence interval (bias corrected)					
90.00%	[0.80, 4.84]	[12.11, 16.68]	[10.07, 20.14]	[6.09, 11.73]	[0.00, 0.14]
95.00%	[0.49, 5.48]	[11.80, 17.13]	[9.54, 21.07]	[5.40, 11.94]	[0.00, 0.21]
99.00%	[0.32, 6.17]	[11.10, 17.74]	[8.72, 22.93]	[4.21, 12.87]	[0.00, 0.21]

밀도와 생체량의 어초 효과 검증 - 실험 II

대조구와 시설구에서 통발에 의해 채집된 어류와 무척추 동물의 마리수와 생체량을 비교하였다. 시설구에서 상대적으로 높은 채집량이 관찰된 곳은 2001년 4월의 소청도(마리수 4배, 생

체량 2.4배)와 대연평도(마리수 1.1배)해역이었다(Fig. 6). 어류만을 고려한다면 소청도 어초 주변에서 대조구에 비해 마리수가 약 5배, 생체량은 약 8배 정도 높은 수준인 것으로 나타났다.

Table 3에 어초 효과의 통계적 검증 결과를 요

Table 3. Results of paired t-test and sign test for testing positive effect of artificial reefs(H0: control=treatment; H1: control < treatment)

Variable	N	Mean	Median	Prob > T	Prob > S
Baengnyeong (Oct. 2000)					
Abundance (F + I)	8	-0.050	-0.128	0.738	0.856
Biomass (F + I)	8	-0.043	-0.341	0.544	0.965
Baengnyeong (Apr. 2001)					
Abundance (F)	3	0.162	0.610	0.392	0.500
Abundance (F + I)	13	-0.081	0.024	0.680	0.500
Biomass (F)	3	1.120	1.644	0.191	0.500
Biomass (F + I)	13	0.113	-0.006	0.379	0.710
Socheong (Oct. 2000)					
Abundance (F)	3	-0.148	-0.072	0.739	0.875
Abundance (F + I)	12	-0.221	-0.252	0.993	0.981
Biomass (F)	3	-0.144	-0.401	0.667	0.875
Biomass (F + I)	12	-0.332	-0.396	0.976	0.981
Socheong (Apr. 2001)					
Abundance (F)*	3	0.557	0.640	0.037	0.125
Abundance (F + I)*	9	0.504	0.640	0.009	0.020
Biomass (F)	3	1.615	1.080	0.069	0.125
Biomass (F + I)*	9	0.718	0.857	0.066	0.020
Daeyeonpyeong (Apr. 2001)					
Abundance (F)*	8	0.123	0.208	0.037	0.145
Abundance (F + I)	20	0.075	0.208	0.191	0.058
Biomass (F)	8	0.532	0.377	0.072	0.145
Biomass (F + I)	20	0.383	0.377	0.063	0.132
Ganghwa (May 2001)					
Abundance (F)	4	0.260	0.195	0.080	0.125
Abundance (F + I)	10	0.048	0.141	0.412	0.090
Biomass (F)	4	0.773	0.994	0.135	0.313
Biomass (F + I)	10	0.390	1.035	0.237	0.172

F = fishes only; F + I = both fishes and invertebrates included. *denotes significance at $\alpha < 0.05$

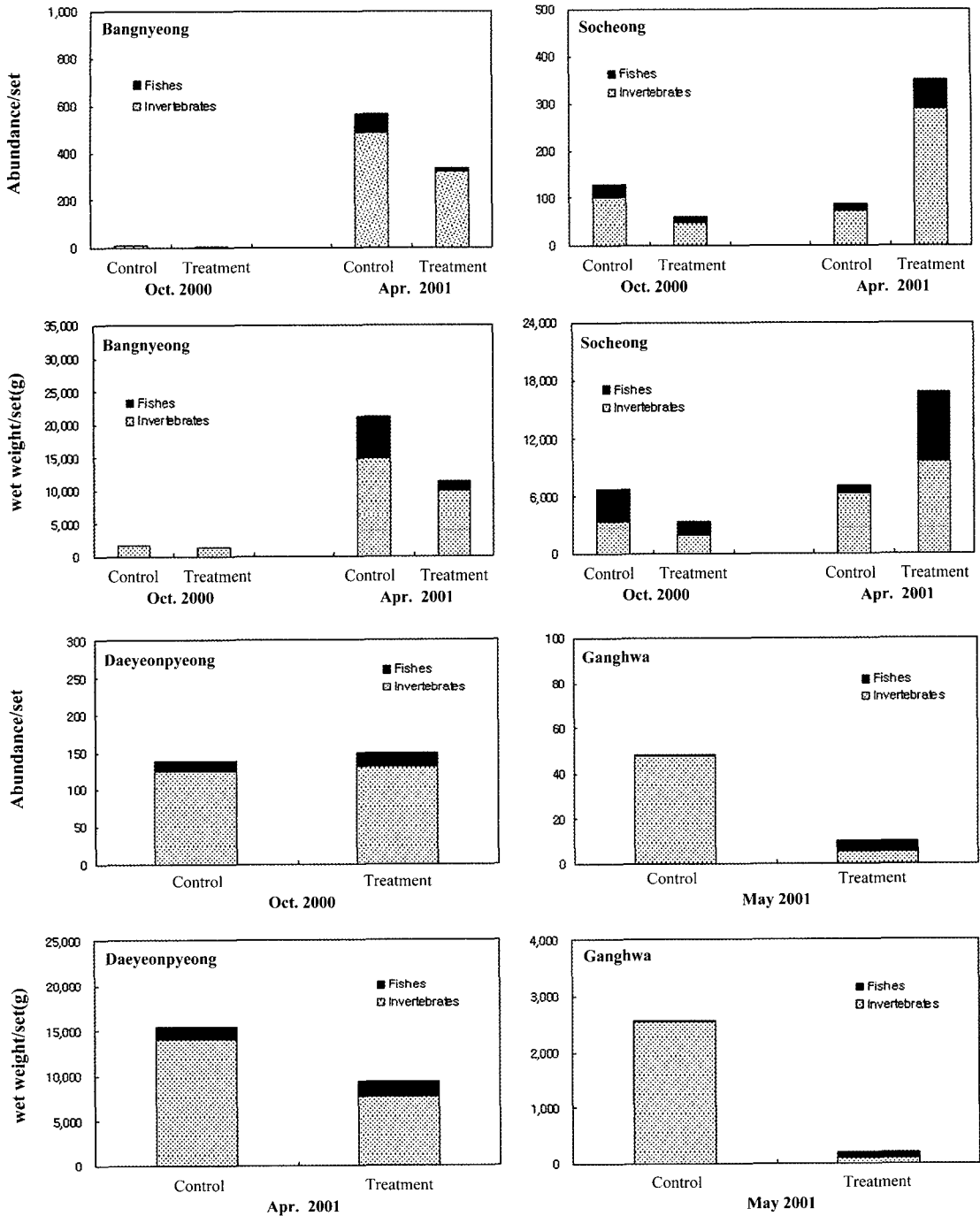


Fig. 6. Comparisons of fish and invertebrate abundance and biomass between control and treatment (artificial reef) areas.

약하였다. t-검정과 부호 검정으로부터 대부분의 해역에서 귀부가설이 채택된 것으로 나타났다. 단, 2001년 4월의 소청도와 대연평도 해역의 일부 표본에서 95% 유의수준에서 어초효과가 있는 것으로 나타난 경우도 있었는데, 대연평도 해역의 경우 상대적으로 다양한 8종 어류가 출현, 이들 가운데 6종이 어초 시설구에서 상대적으로 많이 어획되었기 때문인 것으로 추정된다.

고 찰

어초의 주변 환경 및 보존 상태

본 연구와 동시에 수행된 IMC(2001)에 의하면, 인공 어초가 시설된 해역 네 곳의 수질은 2000년 가을과 2001년 봄 모두 해양수산부 해역별 수질기준 상 1등급의 범위에 해당하는 것으로 나타났다. 1997년 선미도와 대청도 그리고 백령도 해역에서 조사한 인천광역시(1997)의 자료에서도 어초 시설해역의 수질이 1등급인 것으로 조사된 바 있다. 따라서 경기만의 외해역에 위치한 어초 해역의 수질은 과거에 비해 커다란 변화 없이 비교적 좋은 상태를 유지하고 있는 것으로 추정된다.

환경의 질을 파악하는 데 적절한 생물군인 대형저서동물을 대상으로 SEP(Shannon-Weaver evenness proportion; McManus and Pauly, 1990) index를 적용한 결과 역시 어초 시설 해역 4군데 모두 건강한 환경 상태를 유지하는 것으로 나타났다(IMC, 2001).

IMC(2001)의 부착, 연성기질 저서동물 군집 연구 결과에 의하면, 강화도와 대연평도 해역의 어초 부착생물에 대한 1회 조사 결과 각각 35종, 평균 672마리/0.04㎡ 그리고 50종, 평균 1,402마리/0.04㎡가 서식하는 것으로 나타났다. 반면 강화도와 대연평도 해역의 어초 주변 연성기질의 2회 조사 평균 출현 종수와 마리수는 각각 14종, 196마리/㎡, 그리고 52종, 1,750마리/㎡인 것으로 추정되었다. 따라서 어초의 설치 저서동물의 현존량의 증가에 크게 기여한 것으로 볼 수

있다. 어초 부착생물 가운데 높은 밀도를 나타낸 종류는 대부분 단각류, *Corophium*, *Parapleustes*, *Stenothoe*, *Erichthonius*, *Gammaropsis*, *Caprella*, *Aoridae*, *Jassa* 등으로서 이들은 쥐노래미나 그 외 저어류가 선호하는 암반 기질 서식 주요 먹이 생물이다(ESFRI, 2002). 물론 어획 대상종의 위집이나 생산력 증대에 얼마나 효과적인가는 현재로서는 알 수 없으나, 잠재적 먹이생물 서식밀도와 서식처의 이질성(연성 저질의 서식 생물상 조성은 어초 부착생물의 것과 현저히 다름)의 증가에 대한 기여 효과는 높은 것으로 보인다. 수중에서 관찰된 어초 표면에는 모래나 펄이 퇴적되어 있는 것으로 나타났다. 암반 기질에서의 퇴적 작용은 서식 생물 군집의 변화나 질식 또는 폐사를 유발할 수 있으며(Bakus, 1968; Clarke et al., 1993; Airoidi et al., 1996), 이는 앞서 언급한 어초의 기능을 감소시킬 수 있다.

1개의 단위어초도 관찰되지 않은 백령도 해역의 경우에는 상당수가 매몰되었을 가능성도 있는 것으로 보인다. 물론 어초를 발견하지 못한 이유는 시설 당시의 위치정보 시스템의 한계성(예를 들어 GPS 오차나 이외 좌표 시스템의 상이, 측정기기의 낮은 정밀도 등)으로 인해 그 위치가 부정확하기 때문이다. 그러나, 나머지 3개 해역의 경우 해도상의 어초 시설지 경계로 표시된 범위 내에서 모든 단위 어초군이 관찰되었으므로 예외적으로 백령도 해역에서만 경계선 밖에 시설되었을 가능성은 낮은 것으로 판단된다. 백령도 해역의 어초 시설지는 강화도 해역의 것과 유사한 사질 퇴적상이다. Fig. 3의 강화도 해역에서 관찰된 바와 같이 사주의 이동에 따라 매몰되었을 가능성도 있을 것으로 판단된다. 모래의 이동에 따른 매몰 가능성은 Park et al.(2003)에서도 보고된 바 있으며, 백령도 해역의 1989년 시설 어초 조사에서는 반 이상 매몰된 어초가 전체의 60-80%인 것으로 보고되었다(IMC, 1997).

경기만의 일부 암반 위에 시설된 사각어초가 설치된 지 23년이 지난 뒤에도 잘 보존된 상태로

관찰(Park et al., 2003)된 반면 5-6년이 경과된 조사 해역의 일부 어초에서는 매몰과 침하가 관찰되었다. 매몰과 침하는 어초 기능의 감소의 주요인 가운데 하나이다. 사주의 이동과 퇴적 정도를 알 수 있는 사례로 최근 경기만에서 실험적으로 생성된 20×50m² 면적에 깊이 1-2m의 웅덩이가 약 6개월 만에 원상회복된 예도 있다(IBOKAA, 2002). 물론 이러한 퇴적 양상은 지역에 따라 현저한 차이를 나타낼 것이다. 외국의 경우 sand wave field 내에 시설된 어초에서 1년 만에 0.75m의 모래가 퇴적된 사례가 있다(Foster et al., 1994). 사주의 이동이 빈번하면 생태계 교란 요인으로 작용하여 저서생물상 역시 매우 빈약해진다(Hong and Yoo, 1996). 따라서 인공어초가 정상적인 기능을 수행하고 오래 보존될 수 있기 위해서는 시설지의 퇴적물의 이동에 관한 조사가 전제되어야 할 것으로 판단된다.

어초 효과의 지속성과 국지성

본 연구로부터 2회 조사가 수행된 백령도와 소청도 해역에서는 대조구 단위노력당 어획량이 시기에 따라 현저한 차이를 나타내었고, 소청도 해역에서도 어초 효과의 시기별 차이(2000년 10월과 2001년 4월) 등이 관찰되었다. Fig. 4와 6에 나타난 바와 같이, 종 조성의 시기에 따른 차이는 일부 회유성을 갖는 무척추동물(꽃게, *Portunus trituberculatus*)에서 나타나긴 하나, 그 외의 무척추동물(북방참집게, *Pagurus ochotensis*나 갈색띠매물고둥, *Neptunea cumingi*)과 어류 등의 우점종에서는 크지 않은 것으로 볼 수 있었다. 본 연구의 가을과 봄 단 2회 조사로부터의 어획 밀도나 생체량 추정치는 편의 가능성이 있으므로 시기에 따른 변동을 해석하는 것은 부적절한 것으로 판단되나, 두 해역에서 동시에 관찰된 봄철의 높은 어획량 패턴은 계절적 현상일 것으로 판단된다. 어초 주변의 어류 군집은 암초성과 회유성 어류로 구성되며, 이들의 어획량에 다양한 유형의 계절적 변동 패턴이 존재하는 것은 일

반적인 현상으로 보인다(Lee and Kang, 1994).

소청도 해역에서 관찰된 어초 효과의 시기에 따른 차이는 시설된 어초의 효과가 연중 내내 지속되는 것이 아님을 지시하는 것으로 이해할 수 있다. 이는 어초 시설구에서 4계절 내내 지속된 긍정적 효과를 보고한 KNU(1999)와 대비되는 것이다. 반면 Gyeonggi-do(1999)의 경우, 어초에 따라 자연 어장 대비 어획량의 상대적 높낮음에 하계와 추계 간 차이가 존재하였다. 따라서, 어초 효과의 시간에 따른 패턴은 국지성을 갖는 것으로 볼 수 있다. 회유 현상의 하나로도 볼 수 있는, 어초 시설에 대한 어류나 무척추동물의 선호도(loyalty)의 차이(예를 들어 어초에서만 머물거나 단위 어초간 회유 또는 어초군에서 먼 바다로의 회유 등)는 어초나 해역, 시기, 대상 어종 간 그리고 단일 어종 내에서 달라지는 것으로 추정된다(Pickering and Whitmarsh, 1996). 현재까지 국내에서는 표지방류와 같은 방법으로 어종별 어초 시설에 대한 충실도의 패턴에 대해 파악한 연구 사례가 없다. 이에 대한 연구가 어초 효과의 시간에 따른 패턴에 대한 이해를 도울 수 있을 것으로 생각된다.

어초 효과 조절 요인

독립적으로 수행된 실험 I 과 II에서 공통적으로 2001년 4월 소청도 해역 어초의 효과를 긍정적으로 볼 수 있는 결과가 제시되었다. 대연평도 해역의 경우 다양한 어종이 근소하게 어초에서 높은 밀도로 채집되었으나, 이를 뛰어난 효과로 간주하기는 어려울 것으로 생각된다. 기존 연구의 어초 효과 추정치는 다양한 분산을 나타내며 이러한 패턴은 동일한 유형의 어초를 시설하였다 하더라도 시설지의 다양한 조건에 따라 그 효과에 차이가 발생할 수 있음을 암시한다. 본 연구에서 동일한 시기, 유사한 수질 환경에서 관찰된 4개 해역의 상이한 어초 효과 역시 이러한 가능성을 뒷받침하는 것으로 볼 수 있다. 소청도 해역의 높은 효과와 더불어 그 외 사례들(예를

Table 4. Patterns of estimated effects among reefs

	Mud-dominant mixed bottom	Sand-dominant mixed bottom	Gravel
KNU (1999) ¹	0	0	
Gyeonggido (1999) ²	-	-	+
IMC (1997) ³	0	0	
IMC (2001)	-	-	+

※ Signs indicate relative effects (*i.e.*, treatment/control) compared within a study and 0 denotes of no difference.

^{1,3} Ranges of the effects were 1.64 – 1.75 and 1.97 – 2.06, respectively.

² Comparison of CPUE was made among artificial reefs.

들어 사각어초 시설지에서의 시설구/대조구 단위 어획량 비교치)을 비교하여 어떠한 요인이 효과에 영향을 미치는가를 추정하였다. 각 연구 간 추정치를 비교하는 것 보다는 연구 내의 표본 또는 정점 간 추정치의 변동 패턴을 관찰하였다 (Table 4).

어초의 효과와 관련된 요인으로는 수괴의 물리적 환경, 어초군의 크기, 높이, 시설지 수심, 자연초와의 거리, 저층 지반의 유형과 안정성 그리고 먹이의 양 등 다양한 요인이 있다(Pickering and Whitmarsh, 1996). Table 4는 이들 요인 가운데 국내의 연구 사례 간 비교가 가능한 환경 요인인 저층 지반의 유형을 비교한 것이다. 군산의 혼합 퇴적상 위에 시설된 3개 어초군(어청도, 말도 그리고 위도)의 비시설구 대비 효과는 동일한 수준으로 볼 수 있는 1.64 – 1.75배의 범위를 나타내었다(KNU, 1999). Gyeonggi-do(1999)의 경우에는 대조구 대비 효과가 0.5 – 0.6배인 것으로 나타났고 이는 대조구가 암반과 자갈로 이루어진 천연어초 어장이었기 때문으로 해석되었다. 인공어초 시설구 간의 통발 어획 마리수 비교에서 혼합 퇴적상에 비해 자갈 바닥의 것이 약 2 – 3배 많은 것으로 나타났다. 수중 조사에서 자갈 바닥의 어초에서 탁월한 위집 효과가 관찰된 것으로 보고되었다. IMC(1997)의 선미, 대청, 백령도 해역 조사에서 각 해역별로 비시설구 대비 1.2 – 1.3배의 효과를 언급하였으나, 이 역시 동일한 수준으로 볼 수 있으며 해역별 기질은 사질 우세 니사질이나 사질이었다. 앞서 언급한 바와 같이 자갈 바닥 위에 시설된 것으로 보이는 소청도 해

역의 비시설구 대비 효과는 4배였다.

이러한 어초 효과의 패턴은 사각형어초의 시설지가 연성 저질보다는 경성 기질(바위, 자갈 등)에 적합하다는 Hasegawa(1976)와 Mottet (1985)의 추정과도 일치하는 것이다. 혼합 퇴적상이나 사질 해저면의 어초가 경성 기질 해저면의 것에 비해 상대적으로 낮은 효과를 나타낸 것은 어초의 보존 상태와도 관련 있는 것으로 추정된다. 비교적 적은 수의 연구 사례를 바탕으로 추정된 것이며 추정된 원인에 대해서 해역별로 다양한 어종들이 유사한 반응을 나타낼 것으로 기대하기 어렵고 게다가 다수의 요인들 간 상호작용도 존재할 것이다. 어초의 효과에 대한 연구는 반신반의의 성격을 가지며, 이는 단순한 효과의 보고에 그치지보다는 시설 후의 관리와 모니터링이 보다 중요함을 의미한다. 따라서, 지속적인 어초 시설 접근과 다양한 환경 요인과 연결지을 수 있는 디자인의 조사와 분석을 통하여 어초 효과를 최대화하는 요인을 규명하고 기작을 이해하는 것이 무엇보다 필요할 것이다.

결 론

1995년과 1996년 사이에 한국 서해안의 경기만에 위치한 백령도, 소청도, 대연평도, 강화도의 4개 섬에 설치되었던 인공어초(사각형어초, 2×2×2m³)의 효과를 추정하기 위해 2000년 가을과 2001년 봄에 현장조사가 수행되었다. 어초시설의 상태와 조건을 확인하기 위해 스쿠버 다이빙, 사이드 스캔 소나 그리고, 어군탐지기를 이용하였다. 대연평도와 강화도 해역에 설치된

어초의 대부분은 바닥의 퇴적물속에 묻혀있었다. 백령도 해역에서는 집중적인 탐사에도 불구하고, 단 한 개의 단위어초도 발견되지 않았는데, 이는 사주의 이동에 의해 매몰되었기 때문인 것으로 추정된다. 따라서, 향후 기대되는 인공어초의 효과와 어초의 보호를 위해서는 어초 설치 후의 사후평가에 퇴적물의 이동에 대한 적절한 조사가 전제되어야 할 것이다. 부트스트랩 시뮬레이션에 의해 자연어장(대조구)에서의 평균 CPUE분포를 추정하였고, 백령도와 소청도 해역에서 대조구와 시설구 사이의 CPUE 비교가 가능하였다(실험 I). 백령도 시설구에서의 CPUE는 대조구 CPUE의 99% 신뢰구간 사이의 값을 보이거나, 또는 그 보다 낮은 수준의 값을 보인 반면, 소청도 해역에서는 어초의 긍정적인 효과가 감지되었다. 대조구와 시설구에서 어류와 무척추동물의 풍도와 생체량 비교는 짝을 이룬 t 검정과 부호 검정으로 테스트하였다(실험 II). 총 22개의 경우 가운데 오직 4개의 경우에서만 인공어초 시설에 대한 유의한 긍정적인 효과를 보였고, 나머지는 대조구와 시설구의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로, 소청도 해역의 사각형어초는 긍정적인 효과를 가지는 것으로 판단된다. 또한, 해저 퇴적상의 유형은 매물이나 침하 같은 인공어초 기능 감소의 주요인이 될 수 있으므로, 향후 조사에서는 어초 시설 주위의 환경 요인을 고려한 분석이 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

- Airoldi, L., M. Fabiano and F. Cinelli, 1996. Sediment deposition and movement over a turf assemblage in a shallow rocky coastal area of the Ligurian Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 133, 241 – 251.
- Bakus, G.J., 1968. Sedimentation and benthic invertebrates of Fanning Island, Central Pacific. *Mar. Geol.*, 6, 45 – 51.
- Buckley, R.M. and G.J. Hueckel, 1985. Biological processes and ecological development on an artificial reef in Puget Sound, Washington. *Bull. Mar. Sci.*, 37, 50 – 69.
- Clarke, K.R., R.M. Warwick and B.E. Brown, 1993. An index showing breakdown of seriation, related to disturbance, in a coral – reef assemblage. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 102, 153 – 160.
- CNU, 2000. Report on post – management and evaluation on artificial reef. Marine and Environmental Research Institute, Cheju National University, pp. 78.
- Diaconis, P. and B. Efron, 1983. Computer – intensive methods in statistics. *Sci. Am.*, 248, 116 – 130.
- ESFRI, 2002. Studies on faunal changes and grazers in macroalgal bed(Final report). East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, pp. 163.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27, 3 – 27.
- Foster, K.L., F.W. Steimle, W.C. Muir, R.K. Krapp, and B.E. Conlin, 1994. Mitigation potential of habitat replacement: concrete artificial reef in Delaware Bay, preliminary results. *Bull. Mar. Sci.*, 55, 783 – 795.
- Gyeonggi-do, 1999. Artificial reef evaluation study in 1999(final report). Gyeonggi – do, pp. 216.
- Hasegawa, Y., 1976. Progress of Laminaria cultivation in Japan. *J. Fish. Res. Board Canada*, 33, 1002 – 1006.
- Hong, J.S. and J.W. Yoo, 1996. Salinity and sediment types as sources of variability in the distribution of the benthic macrofauna in Han Estuary and Kyonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 31, 217 – 231.
- IBOKAA, 2002. Estimation of sand resource in Kyonggi Bay and assessment of the impact of sand extraction. Incheon Branch Office of Korea Aggregates Association, pp. 585.
- IMC, 1997. Assessment of artificial reef. Incheon Metropolitan City, pp. 106.
- IMC, 2001. Assessment of artificial reef in 2000(final report). Incheon Metropolitan City, pp. 223.
- Ino, T., 1974. Historical review of artificial reef activities in Japan. In: *Proceedings of an International*

- Conference on Artificial Reefs. ed. by L. Colunga and R. Stone. Center for Marine Resources, Texas A & M Univ., College Station, TX 77843. pp. 21 – 23.
- KNU, 1999. Report on evaluation study of artificial reef in Jeollabuk-do. Fisheries Science Institute, Kunsan National University, pp. 141.
- Lee, J.W., Y.S. Kang, 1994. Variations of fish community and fish density on artificial reefs. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27(5), 535 – 548.
- McManus, J.W. and D. Pauly, 1990. Measuring ecological stress: variations on a theme by R. M. Warwick. *Mar. Biol.*, 106, 305 – 308.
- Mottet, M.G., 1985. Enhancement of the marine environment for fisheries and aquaculture in Japan. pp.13 – 112. In: *Artificial reefs – marine and freshwater applications*. ed. by F.M. D' Itri. Lewis Publishers, Michigan.
- NFRDI, 2005. Report on the results of artificial reef facility. National Fisheries Research and Development Institute, Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, pp. 127.
- Park, H.H., J.K. Shin, J.O. Kim, S.Y. Park, H.S. Kim, D.H. Lim, Y.C. Park, S.H. Cho, S.H. Hong, J.W. Lee, B.G. Ahn, 2003. An effect on fisheries resources enhancement of hollow jumbo structure and a search for artificial reefs by side scan sonar in the Western Sea of Korea. *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology*, 39(3), 230 – 238.
- Pikckering, H. and D. Whitmarsh, 1996. Artificial reefs and fisheries exploitation: a review of the 'Attraction versus Production' debate, the influence of design and its significance for policy. CEMARE Research Paper 107, ISSN0966 – 792X, Univ. Portsmouth. pp. 27.
- Randall, J.E., 1963. An analysis of the fish populations of artificial and natural reefs in the Virgin Islands. *Caribb. J. Sci.*, 3, 31 – 47.
- Rutecki, T.L., J.A. Dorr III, and D.J. Jude, 1985. Preliminary analysis of colonization and succession of selected algae, invertebrates and fish on two artificial reefs in inshore Southern Lake Michigan. In: *Artificial reefs – marine and freshwater applications*. ed. by F.M. D' Itri. Lewis Publishers, Michigan. pp. 459 – 489.
- Ryu, J.G., 2000. Assessment and improvement scheme of artificial reefs projects in Korea. *KMI Maritime Review*, 190, 55 – 67.
- Shannon, E.C. and W. Weaver, 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana. pp. 117.
-
- 2006년 11월 15일 접수
2007년 4월 20일 수리