

포항시 장길리 해역에 설치된 뿔삼각형어초에 서식하는 저서동물의 시간적 흐름에 따른 군집변화 분석^{1a}

이지현^{2*} · 김완기² · 손용수² · 박기열² · 윤종국² · 이채성²

Studies on Temporal Variabilities of Community Structure of Benthic Marine Organisms on Horn Triangle Artificial Reefs along the Jangkil-ri Coast of Pohang, South Korea^{1a}

Lee Ji-Hyun^{2*}, Wan-Ki Kim², Yong-Soo Son², Ki-Yeol Park², Jong-Kuk Youn², Chae-Sung Lee²

요 약

정부는 해양환경복원과 수산자원을 회복하기 위해 1971년부터 2014년까지 약 44년 동안 222,627ha의 인공어초어장을 조성하였다. 그러나 인공어초 설치사업은 증가되고 있는 반면 아직까지 설치된 어초의 효과에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 포항시 장길리 해역에 설치된 뿔삼각형어초에 부착·서식하는 저서동물의 시간적 군집변화를 살펴보기 위해 2003년 포항시 장길리 해역 수심 5~7m에 설치된 뿔삼각형어초를 대상으로 2009년 2월부터 2011년 8월까지 총 4회에 걸쳐 어초에 부착된 저서동물의 군집을 분석하였다. 그 결과 우점하는 분류군은 연체동물이고 우점종은 바다방석고둥인 것으로 나타났다. 또한 출현종들은 대부분 시공간의 변화에 따라 달라지는 양상을 보였다. 따라서 이 연구를 통해 시설해역과 목적하는 종의 특성에 적합한 인공어초 개발 연구, 사후관리에 관한 이용, 관리제도 제정 등에 활용될 것으로 기대한다.

주요어: 인공어초, 해양환경, 우점종, 비교분석

ABSTRACT

In Korea, the government has invested the installation of artificial reefs (ARs) which deploying to enhance the restoration of marine environment and productivity on the coastal area at the part of 222,627ha, from 1971 to 2014 for 44 years. The number of ARs are gradually increasing, while their comparison and corelation analysis were not much studied. Therefore, this study is to analyse temporal variation of ARs which composed of concrete named the Horn triangle reefs were deployed at Pohang, Jangkil-ri, a depth of 5 to 7m, in 2003, was monitored 4 times from 2009 to 2011. In results, the biodiversity investigated that the dominant species was Mollusca *Omphalius pfeifferi* except in 2009. The different species mainly depend on spatial-temporal variation. In this type of study can be used to the R&D, management and government policy of ARs as well improving marine environment.

KEY WORDS: ARTIFICIAL REEF, MARINE ENVIRONMENT, DOMINANT SPECIES, COMPARISON ANALYSIS

1 접수 2016년 1월 14일, 수정 (1차: 2016년 2월 15일, 2차: 2016년 2월 16일), 게재확정 2016년 2월 17일

Received 14 January 2016; Revised (1st: 15 February 2016, 2nd: 16 February 2016); Accepted 17 February 2016

2 한국수산자원관리공단 동해지사 Korea fisheries resources agency East Sea branch, Pohang-si 37688, Korea(pander27@fira.or.kr)

a 이 논문은 동해지사 지자체 사업인 인공어초어장관리사업에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-54-288-2734, Fax: +82-54-254-7117, E-mail: pander27@fira.or.kr

서론

인공어초는 해저나 해중 수산생물 자원의 보호·육성 및 조업의 효율화를 목적으로 시설하는 인공적인 구조물을 말한다. 이외에도 다양한 생물들이 먹이사슬을 형성하게 도와 줌으로써 자원상태를 최적화하게 할 뿐만 아니라 해양환경 보호기능도 수행하게 하여 새로운 어장의 조성 및 수산자원을 증대하는 것에 그 목적이 있다(Steneck *et al.*, 2002). 이러한 인공어초는 정책적인 협정에 따라 연안어장의 어업 생산 여건의 악화와 환경오염에 의해 감소되는 수산자원을 증가시키고 보호할 목적으로 1971년부터 정부에서 추진하여 어장을 조성하고 있다(해양수산부, 1999). 이러한 인공어초사업 목적에 부합하기 위해서는 시설 후 어초의 효과와 상태를 과학적으로 조사하고 분석하는 사후관리가 필요하다. 인공어초를 시설한 후 그 효과에 관한 보고로는 인공어초의 효과에 관한 연구(Pickering and Whitmarsh, 1997), 관광자원화에 관한 연구(Kim, 1995) 등이 연구되었다. 생태적 진단의 경우, 대부분이 어류에 관한 비중이 높으며(Hwang *et al.*, 2004), 부착생물에 관한 연구는 저서생물의 천이과정(Lee, 2008), 군집구조(Fukunaga and Bailey-Brock, 2008; Choi, 2008) 등에 관해 연구되었다. 또한 온도, 염분 그리고 수심(Lampitt *et al.*, 1986) 등 물리적인 환경, 용존산소(Llanso, 1991, 1992), 유기물질의 농도 등 화학적인 환경 그리고 서식환경과 먹이, 경쟁 등 생물학적 환경과 같은 주변의 여러 가지 환경 변화에 따라 군집구조와 서식양상이 변화한다고 보고된 바 있다(Beukema 1989; Park *et al.*, 1998). 그러나 어초시설의 타당성에 관한 사후평가제도는 제도화되어 있지 않다. 이는 어초의 효과가 시설 후 바로 나타나는 것이 아니라 일정기간 수산생물의 서식환경이 조성된 후에 나타나기 때문에 정부가 사후관리를 시설위치 조사 위주로 추진한 결과 시설량에 대한 조사내용은 있으나 사후 어초의 기능상태 유지에 대한 전반적인 조사는 아직까지는 부족한 실정이다. 그렇기 때문에 인공어초의 효과를 정확하게 파악하기 위해서는 시설해역의 환경특성과 어초에 의한 생산증대 양상과 같은 생태적 특성에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 목적인 포항시 장길리 해역에 설치된 뿔삼각형어초에 부착·서식하는 저서동물의 시간적

군집변화를 밝히는 것으로 첫째, 조사대상지역의 대한 해역의 물리·화학적 환경요인분석, 둘째, 설치된 뿔삼각형어초의 시간적 저서동물군집구조 변화, 우점종 파악하여 비교·분석하였다.

연구방법

1. 물리·화학적 요인분석 방법

본 연구의 대상 인공어초는 경상북도 포항시 구룡포읍 장길리 해역에 시설되어 있으며(Figure 1), 조사지역의 수온, 염분(Salinity), 수소이온농도(pH), 용존산소량 DO (Dissolved Oxygen), 화학적산소요구량 COD (Chemical Oxygen Demand), 총질소(T - N), 총인(T - P) 및 부유입자농도 SS (Suspended Solids) 자료는 환경관리공단 기후수질팀에서 측정된 동해환경측정망 자료를 활용하였다. 모든 자료는 해양수산부의 해양오염방지법 제4조 2항의 규정에 의하여 비교·분석하였다(Table 1).

2. 대상어초 시설위치 및 제한

조사대상어초는 뿔삼각형어초로 2003년 포항시 구룡포읍 장길리 해역에 설치한 것으로 수심 5~7m에 시설되었으며(N 35°56.934' E 129°32.782')(Figure 1), 패조류용어초로 콘크리트로 제작되었으며, 크기는 1.4m W × 1.3m L × 1.5m H이고 총 무게는 1.0톤이다(Figure 2).

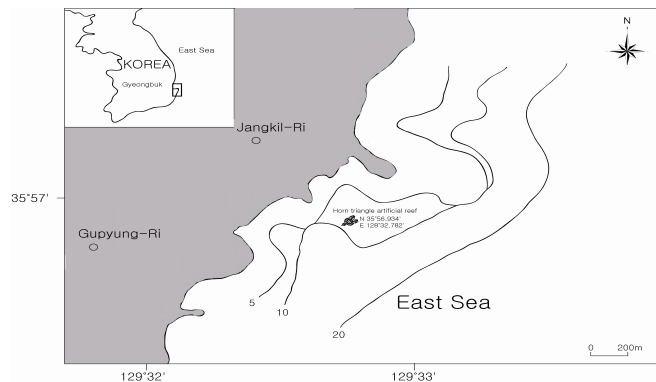
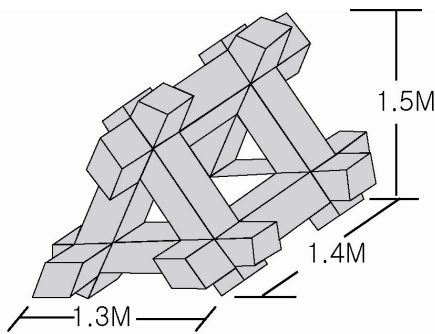


Figure 1. Location of large type steel reef deployment sites

Table 1. Physicochemical characteristics of seawater along the Guryongpo coast of Pohang, Korea

Grade	Parameters					
	pH	DO(mg/L)	COD(mg/L)	T - P(mg/L)	T - N(mg/L)	SS(mg/L)
I	7.8~8.3	> 7.5	< 1	< 0.03	< 0.3	< 10
II	6.5~8.5	> 5.0	< 2	< 0.05	< 0.6	< 25
III	6.5~8.5	> 2.0	< 4	< 0.09	< 1.0	



Horn triangle reef

Dimension (m) : 1.4 × 1.3 × 1.5

Material : concrete

Weight (ton) : 1.0

Figure 2. Structure, Dimension and composite materials of Horn triangle artificial reef

3. 서식하는 저서동물의 군집구조 분석

포항시 구룡포 장길리 해역에 시설된 뿔삼각형어초에 서식하는 저서동물을 조사하기 위하여 2009년 2월부터 2011년 8월까지 총 4회에 걸쳐 연구를 수행하였다. 저서동물의 군집구조 분석을 하기 위하여 비교적 다양하게 부착된 표본 어초 1개를 선정하였다. 선정된 표본 어초에 방형구(50×50 cm)를 설치하여 방형구내 시료를 전량 채집하는 방법인 시료파괴 분석방법(Destructive analysis) (Kim *et al.*, 2008)을 이용하였다. 채집된 시료는 아이스박스에 넣고 실험실로 운반하였다. 채집된 저서동물은 종(Species)까지 분류하였으며, 종으로 분류가 되지 않는 것은 속(family)으로 분류하였다. 분류된 종은 개체수와 습중량을 측정하였고, 측정된 자료는 단위면적당(m²)으로 환산하였다. 동정된 저서동물의 동정은 한국해양생물사진도감, 해양생물대백과 2권, 부산의 패류를 기준으로 하였다. 또한, 조사대상 어장 주변을 살펴보기 위해 수중 카메라(Nikon D800, D700)를 이용하여 촬영하였다.

4. 통계분석

경상북도 인공어초어장에 시설된 뿔삼각형어초의 조사 시기에 따른 종 구성 상태를 나타내기 위하여 Shannon and Weaver (1949)의 종 다양도 지수(Diversity index, H')와 각 종마다 개체수 또는 중량의 분포 정도를 의미하는 균재도(Evenness index, J')를 아래에 나타낸 식에 의하여 분석하였다. 또한 저서생물의 종수와 생체량의 차이를 비교·분석하기 위하여 SPSS (Statistical Package for the Social Science, version 21) 프로그램을 이용한 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 통하여 유의성을 파악하였으며,

각 조건별 처리 평균간 유의성(p<0.05)은 Tukey's test (1949)를 사용하여 분석하였다.

$$\text{Diversity index, } H' : H = - \sum_{i=0}^S P_i \times \ln(P_i)$$

$$\text{Evenness index, } J' : J = \frac{H'}{\ln(S)}$$

$$\text{Richness Index, } R : R = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$$

P_i : number of individuals belonging to the ith species in the sample

S : number of species

N : total number of individuals in the sample

결 과

1. 물리·화학적인 요인분석

본 연구는 뿔삼각형어초가 시설된 포항시 구룡포 해역의 해양환경을 살펴보고자 2009년 2월부터 2011년 8월까지의 해양환경 중 수온, 염분, 수소이온농도(pH), 용존산소량(DO) 총인(T-P), 총질소(T-N) 및 부유입자농도(SS)를 조사하였다. 그 결과 수온은 표층이 12.0~24.4℃ 사이에 분포하였으며, 2009년 8월이 24.4℃로 가장 높았고, 2011년 2월이 10.0℃로 가장 낮았다. 저층은 7.1~18.1℃ 사이에 분포하였으며, 2010년 8월이 7.1℃로 가장 높았고, 2010년 11월이 18.1℃로 가장 낮게 나타났다. 월별 평균적으로 표층은 2월이 11.4℃, 5월 14.3℃, 8월 23.4℃, 11월 17.2℃로 나타났으며, 저층은 2월 8.5℃, 5월 11.0℃, 8월 11.6℃, 11월 17.5℃로 나타났다(Figure 3). 염분은 표층이 33.17~34.31 사이에 분포하였으며, 저층은 33.31~34.27 사이에 분포하였다. 수소이온농도는 표층이 8.10~8.21 사이, 저층은 8.09~8.18 사이에 분포하였으며, 표층과 저층의 수소이온농도가 7.8~8.3 사이에 분포하여 수질 I 등급을 나타내었다. 용존산소량은 표층이 7.41~9.09 mg/L, 저층은 7.51~8.95 mg/L 사이에 분포하였다. 화학적산소요구량은 표층이 0.30~1.65 mg/L, 저층은 0.06~1.89 mg/L 사이에 분포하였으며, 2009년 2월을 제외하고 모두 1 mg/L 미만으로 조사되어 수질 I 등급을 나타내었다. 총인은 표층이 0.010~0.171 mg/L, 저층은 0.015~0.173 mg/L 사이에 분포하였으며, 2010년 11월을 제외하고는 대부분 0.05 mg/L 미만으로 조사되어 수질 I 등급을 나타내었다. 총질소는 0.129~0.317 mg/L, 저층은 0.1444~0.285 mg/L 사이에 분포하였다. 부유입자농도는 2.60~12.60 mg/L, 저층은 3.80~11.0 mg/L 사이에 분포하였으며, 2010년 11월을 제외하고는 10 mg/L 미만

Table 2. Physicochemical characteristics of seawater at surface and bottom levels along the Guryongpo coast of Pohang from Feb. 2009 to Aug. 2010

Parameters	Feb. 2009		Dec. 2009		Oct. 2010		Aug. 2011	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Salinity(psu)	34.31	34.27	33.25	33.31	33.50	33.45	33.17	34.39
pH	8.21	8.18	8.10	8.09	8.19	8.18	8.20	8.17
DO(mg/L)	7.93	7.97	8.29	7.51	7.41	7.57	9.09	8.95
COD(mg/L)	1.65	1.89	0.79	0.79	0.38	0.74	0.30	0.06
T-P(mg/L)	0.027	0.034	0.039	0.036	0.171	0.173	0.010	0.015
T-N(mg/L)	0.150	0.258	0.178	0.144	0.317	0.154	0.129	0.230
SS (mg/L)	3.20	-	5.40	3.80	12.6	11.0	2.6	4.0

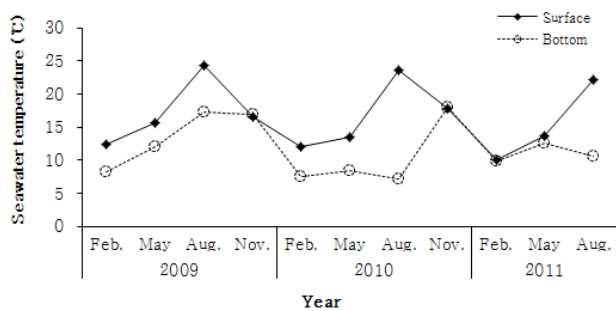


Figure 3. Seasonal fluctuations in mean seawater temperature from 2009 to 2011 in the coastal areas of Guryongpo, Pohang, Korea

으로 조사되어 수질 I 등급을 나타내었다(Table 2).

2. 저서동물의 군집구조 분석

1) 저서동물

뿔삼각형어초에 부착하는 저서동물의 군집변화를 살펴

보기 위하여 2009년 2월부터 2011년 8월까지 총 4회 조사한 결과 총 8문 54종, 22,224.4g/m²이 출현하였다. 조사시기 별 출현종수를 살펴보면 2009년 12월이 23종으로 가장 다양한 종이 출현하였으며, 2011년 8월이 12종으로 가장 적은

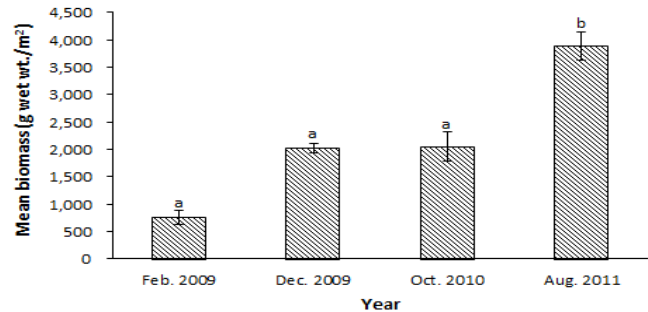


Figure 4. Mean biomass (g wet wt./m²) of benthic animals estimated at different heights of large type steel reef deployed at Jangkil-ri, Pohang from February 2009 to August 2011. Error bars present mean standard error (SE). Statistically significant at the 0.01 level (p<0.01)

Table 3. Number of species, number of individuals, mean biomass and dominant species in Horn triangle artificial reef

Date	No. of species(n)	No. of individuals(n)	Biomass (g wet wt./m ²)	Dominant species
Feb. 2009	22	51±12 ¹⁾	752.5±127.2 ¹⁾	<i>Omphalius pfeifferi</i> (19.9%) <i>Kelletia lischkei</i> (13.4%) <i>Asterina pectinifera</i> (13.4%) <i>Octomeris sulcata</i> (23.8%)
Dec. 2009	23	119±25	2,017.6±90.5	<i>Anthocidaris crassispina</i> (19.9%) <i>Asterina pectinifera</i> (18.9%) <i>Omphalius pfeifferi</i> (38.3%)
Oct. 2010	13	173±25	2,051.3±257.7	<i>Asterina pectinifera</i> (20.8%) <i>Chelyosoma dofleini</i> (17.2%) <i>Hymeniacion sinapium</i> (41.8%)
Aug. 2011	12	264±85	3,880.0±263.0	<i>Asterina pectinifera</i> (13.1%) <i>Omphalius pfeifferi</i> (12.9%)

1)Mean±SE(n=3)

종수를 보였다. 단위면적당 평균 개체수는 2011년 8월이 264 ± 85 개체로 가장 높게 나타났으며, 2009년 2월이 51 ± 12 개체로 가장 적은 개체수를 나타냈다(Table 3). 단위면적당 출현 생체량도 2011년 8월이 $3,880.0 \pm 263.0$ g으로 가장 높은 생체량을 나타냈으며, 2009년 2월이 725.5 ± 127.2 g으로 가장 적은 생체량을 나타냈다. 조사시기별 어초에 부착한 저서동물의 평균 생물량은 유의적으로 차이가 있는 것으로 나타났다(Figure 4) (One-way ANOVA, Tukey's test, $P < 0.002$).

2) 군집분석

각 조사시기별 뿔삼각형어초에 부착된 저서동물의 우점군 및 생태적지수를 분석하였다. 그 결과 우점군의 경우 2009년 2월은 연체동물이 48.2%로 우점하였으며, 우점종은 바다방석고둥(*Omphalius pfeifferi*)으로 나타났다. 2009년 12월은 극피동물이 38.8%로 우점하였으나, 우점종은 절지동물인 팔각따개비(*Octomeris sulcata*)로 나타났다. 2010년 10월은 연체동물이 52.6%로 우점하였으며, 우점종은 바다방석고둥(*O. pfeifferi*)으로 나타났다. 2011년 8월은 해면

Table 4. Proportion of biomass (%) of benthic animal phylum from February 2009 to August 2011 at Guryongpo, Pohang, Korea

Phylum	Feb. 2009	Dec. 2009	Oct. 2010	Aug. 2011
Porifera	0.2	0.6	-	50.3
Cnidaria	-	3.2	-	-
Bryozoa	-	+	-	-
Mollusca	48.2	27.3	52.6	14.9
Annelida	+	+	+	-
Arthropoda	7.0	27.5	3.3	+
Echinodermata	43.1	38.8	20.8	25.4
Chordata	1.5	2.6	23.4	9.4
Total(%)	100	100	100	100

+; 0.1% <

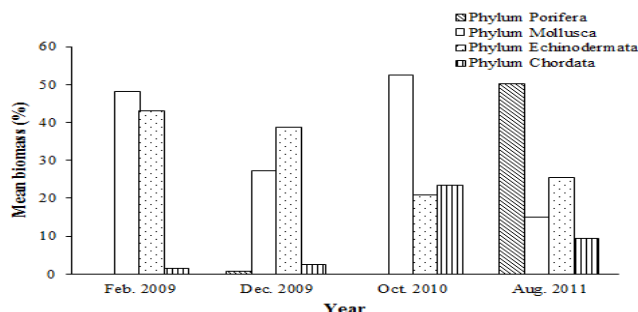


Figure 5. Proportion of biomass (%) of four dominant benthic animal class collected in the coastal area of Jangkil-ri, Pohang, Korea from February 2009 to August 2011

동물이 50.3%로 우점하였으며, 우점종은 주황해변해면(*H. sinapium*)으로 나타났다(Table 4, Figure 5).

뿔삼각형어초에 부착한 저서동물에 대한 종다양도지수는 2011년 8월이 1.72로 가장 높은 값을 나타냈으며, 2009년 2월이 1.18로 가장 낮은 값을 나타냈다. 균등도지수치도 2009년 12월이 1.83로 가장 높은 값을 나타냈으며, 2009년 2월이 1.51로 가장 낮은 값을 나타냈다. 종풍부도지수치는 2009년 2월이 4.18로 가장 높았으며, 2011년 8월이 1.75로 가장 낮은 값을 나타냈다(Table 5).

Table 5. Seasonal variations in species diversity, evenness and richness indices growing on the Horn triangle artificial reefs established in the coastal area of Jangkil-ri, Pohang, Korea

Diversity Indices	Feb. 2009	Nov. 2009	Dec. 2010	Aug. 2011
Diversity (H')	1.18	1.46	1.69	1.72
Evenness (J')	1.51	1.83	1.82	1.72
Richness (R)	4.18	3.88	1.94	1.75

고찰

최근 인공어초 시설해역에 대한 생물학적 연구에 의하면 어초가 저층의 흐름을 차단 혹은 용승시킴으로써 저층의 풍부한 영양염류가 표층으로 공급되어 생태계 기초가 되는 생물들의 증식에 중요한 기능을 하고 있음이 밝혀졌으며, 어초가 부착·서식하는 생물에게 서식장을 제공함으로써 다량의 생물이 서식하게 되어 이를 먹이로 하는 많은 서식생물들이 모여 생물의 증식효과를 가져오게 된다고 보고하였다(Buckley and Hueckel, 1985). 이러한 저서동물은 조사시기 및 방법 등의 여러 가지 요인에 따라 출현 종수, 개체수 및 생체량이 달라진다(Paik *et al.*, 2005). 따라서 본 연구는 포항시 구룡포 장길리 해역에 시설된 뿔삼각형어초에 서식하는 저서동물의 조사시기별에 따라 저서동물이 인공어초에 부착하는 정도를 조사하였으며, 시설해역의 물리·화학적 특징을 알아보기 위해서 환경관리공단 기후수질팀에서 측정한 동해환경측정망 결과 자료를 인용하였다. 그 결과 뿔삼각형어초가 시설되는 수심 5~7m 해역의 수온은 표층 12.0~22.2°C, 저층 7.1~18.1°C 사이에 분포하였으며, 염분은 표층 33.17~34.31, 저층 33.31~34.27 사이에 분포하였다. 연구해역의 해양환경은 수소이온농도, 용존산소량, 화학적산소요구량, 총인, 총질소 및 부유입자농도는 모두 수질 I 등급인 청정한 해역인 것으로 나타났다.

어초에 부착된 저서동물의 출현종수는 겨울시기(2월, 12

월)가 여름(8월)과 가을(10월)시기보다 약 1배정도 높게 나타났으며, 개체수 및 생체량은 여름시기(8월)가 겨울(2월, 12월)과 가을시기(10월)보다 높게 나타났다. 이는 조사시기인 2011년 8월 어초에 연체동물인 뽕뽕이짚신고둥(*Crepidula onyx*)과 절지동물인 옆새우류(*Gammaridae* sp.)의 부착이 증가되어 개체수에 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한 평균 생체량의 경우 2011년 8월 해면동물인 주황해면해면(*Hymeniacion sinapium*)이 다른 조사시기 보다 월등히 우점하였기 때문에 평균 생체량이 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한 뿔삼각형어초에는 주로 연체동물이 우점하는 양상을 보였으며, 우점종도 대부분 고등류로 나타났다. 이와 같은 양상은 김(1995)의 연구에서도 유사하게 나타났는데, 김은 연구 대상어초에 홍합, 따개비 등과 같이 족사로 부착하는 종이 우점하였는데, 이들 종들은 부착면적을 많이 차지하는 종보다 빨리 착생하여 서식하기 때문에 다른 종보다 유리하기 때문에 우점할 수 있다고 보고하였다.

여러 가지 종류의 종이 한 군집내에서 존재하는 다양한 정도를 나타내는 종다양도지수는 총 4회의 조사 중 종수는 가장 적게 나타났지만 다수의 종들이 비슷한 개체가 출현한 2011년 8월(1.72)이 가장 높게 분석되었다. 균등도지수는 출현종수와 개체수가 균등한 2009년 12월(1.83) 값이, 종풍부도지수는 단위면적 내에 서식하는 생물종의 수를 계량화한 것으로 종이 가장 높게 나타난 2009년 2월(4.18)이 가장 높은 것으로 분석되었다. 이를 종합해보면 뿔삼각형어초에 부착한 저서동물의 종다양도지수는 여름시기(8월)가 가장 높게 나타났으며, 겨울시기(2월, 12월)이 낮게 나타났다. 종풍부도지수는 겨울시기가 여름(8월)과 가을시기(10월)보다 높은 것으로 나타났다. 그러므로 본 연구에서 뿔삼각형어초에 부착 서식하는 저서동물은 시간적, 계절적 흐름에 따라 군집구조에 영향을 주었을 것으로 여겨진다. 그러나 유(2006)의 연구에서와 같이 저서동물 종수와 밀도는 화학적 산소요구량 등의 유기물의 함량, 퇴적물의 실트함량, 군집내 중간경쟁 등의 여러 가지 요인들이 고려되어야 하며, 정확한 군집변화에 대한 영향을 파악하기 위해서는 보다 많은 요인을 대상으로 지속적 모니터링을 통한 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

REFERENCES

Beukema, J.J.(1989) Long-term changes in macrozoobenthic abundance on the tidal flats of the western part of the Dutch Wadden Sea. *Hel. Mar. Res.* 43: 405-415.

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.

Choi C.G.(2008) Marine communities around artificial reefs located in Ikata, Shikoku, Japan *J. Kor. Fish. Soc.* 4: 208-214.

Fukunaga A. and J.H. Bailey-Brock(2008) Benthic infaunal communities around two artificial reefs in Mamala Bay, Oahu, Hawaii. *Mar. Environ. Res.* 65: 250-263.

Hwang D.J., J.S. Park and Y.W. Lee(2004) Estimation of fish school abundance by using an echo sounder in an artificial reef area. *J. Kor. Fish. Soc.* 37: 249-254.

Kim D.N., Y.S. Kang and J.W. Lee(1995). Spatial and temporal variation in epibenthic organisms on the Artificial Reefs. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute.* 49: 7-16. (in Korean with English abstract)

Lampitt R.S., D.S.M. Billett and A.L. Rice(1986). Biomass of the invertebrate megabenthos from the 500-4100m in the northeast Atlantic Ocean. *Mar. Biol.* 93: 69-81.

Lee D.J.(2008) Succession process of macro invertebrates attached on artificial reefs installed at the north regions of the East sea. *Kangnung Nat. Univ. Kor.* 43 pp. (in Korean with English abstract)

Llanso R.J.(1991) Tolerance of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide by the polychaete *Streblospio benedicti* (Wedster). *Exp. Mar. Biol. Ecol.* 153: 165-178.

Llanso R.J.(1992) Effects of hypoxia on estuarine benthos : the lower Rappahannock River (Chesapeake Bay), a case study. *Estu. Coast. Shelf Sci.* 35: 491-515.

Margalef R.(1958) Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71.

Paik S.G., S. Yun, K.H. Kim and S.G. Yun(2005) Macro-benthic community on Anglo tidal flat in JinHae. *Kor. J. Environ. Biol.* 23: 106-113. (in Korean with English abstract)

Park H.S., I.H. Lee, C.S. Kim and B.M. Choi(1998) Relationship between the spatial distribution of macro-benthic fauna and density of *Umbonium thomasi* on a tidal sandflat, Taebudo, KORDI Rep. 20: 89-96. (in Korean)

Pickering H. and D. Whitmarsh(1997) Artificial reefs and fisheries exploitation: a review of the 'attraction versus production' debate, the influence of design and its significance for policy. *Fish. Res.* 31 : 39-59.

Pielou E.C.(1977) *Mathematical Ecology*, 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York. 385pp.

Shannon C.E. and W. Weaver(1963) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana. 117pp.

Steneck R.S., M.H. Grahman, B.J. Bourque, D. Corbett, J.M. Erlandson, J.A. Estes and M.J. Tegner(2002). Kelp forest ecosystems; biodiversity, stability, resilience and future. *Environ. Con.* 29: 436-459.

Yu O.H., H.G. Lee, J.H. Lee(2006) The intertidal macrobenthic community along an artificial structure. *J. Kor. Fish. Soc.* 39 : 132-141.