creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

도시계획학 석사학위논문

인공어초와 환경요인이 제주도 연안해역 어류군집에 끼치는 영향

2015년 2월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과 환경관리전공
노 준 성

인공어초와 환경요인이 제주도 연안해역 어류군집에 끼치는 영향

지도교수 이 도 원

이 논문을 도시계획학 석사 학위논문으로 제출함

2014 년 10 월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과 환경관리전공

노 준 성

노준성의 석사 학위논문을 인준함

2014 년 12 월

위 원 장 _____ (인)

부 위 원 장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

해양생태계의 건강성을 나타내는 지표인 생물다양성은 연안에서 외해보다 높게 나타나는 경향이 있다. 그러나 연안의 생물다양성은 인간의 활동으로 인한 서식지 파괴, 기후 변화, 과다 어획, 연안 오염, 연안 개발, 쓰레기 투기 등으로 감소하고 있다. 특히, 서식지 파괴의 증가는 해양생태계에 심각한 피해를 주고 있다. 때문에 인공어초가 파괴되고 있는 해양서식지를 복구하기 위한 대안으로 제안되고 있다. 비록 인공어초가 가지는 해양수산자원 위집 및 증식에 대한 연구는 오래전부터 이루어지고 있지만, 인공어초와 특정 환경요인들 간의 상호작용에 대한 연구는 아직 미흡하다. 그러므로 이 연구에서는 1) 인공어초에 서식하는 어류군집에 영향을 끼치는 환경요인들을 분석하고, 2) 인공어초의 다양한 환경을 대표하는 지표종들을 선정하였다.

조사는 2007년 3월, 2008년 3월과 8월, 2009년 10월, 2010년 5월과 9월, 2011년 7월과 10월에 실시하였다. 제주도 연안해역에 시설된 인공어초 어장 110개 정점과 대조구 어장 81개 정점을 조사하였다. 물리화학적 환경요인들과 어류군집 지수를 산출하였고, 이들의 상관관계를 통계적으로 분석하였다. 분석결과, 환경요인들 중 수온, 인공어초의 재질, 인공어초가 시설된 저질의 상태가 어류군집 지수에 대해서 통계적으로 유의하였다. 이어서 수온의 차이, 인공어초의 재질, 저질 상태를 바탕으로 인공어초 어장을 서식지 유형별로 분리하고, 각각의 서식지 유형을 대표할 수 있는 지표 어류종을 Indicator value analysis (IndVal) 를 통해 선정하였다.

이 연구에서는 인공어초 어장에 서식하는 어류군집에 영향을 끼치는 환경요인에 대해 분석하고, 이를 바탕으로 지표종을 선정하였다. 이전의 연구들에서는 대표종의 선정에 있어서 주로 양적으로 많이 출현한 종이 우선시 되었지만, 이 연구에서는 보다 체계적인 IndVal 분석을 활용하여 지표종을 선정하였다. 이 방법은 인공어초 적지선정에 있어서도 효율적으로 이용될 수 있다. 이는 보다 분석적인 도구를 활용하여 해양생태계에 서식하는 생물들에 대한 이해를 향상시키고 향후 지속가능하고 안정적인 관리를 가능하게 할 것이다.

주요어 : 인공어초; 어류군집; 해양생태계; 생물다양성; 지표종; 환경요인;

학번 : 2012 - 22037

< 연구 목차 >

Ⅰ. 서론 ····· 1

1. 연구의 배경 ····· 1

2. 연구의 목적 ····· 6

Ⅱ. 연구자료 ····· 7

1. 제주도 인공어초 어장 사업관리 보고서 ····· 7

Ⅲ. 연구의 범위와 방법 ····· 8

1. 연구의 범위 ····· 8

1) 공간적 범위 ····· 8

2) 내용적 범위 ····· 9

2. 인공어초 어장환경 조사 ····· 11

3. 어획조사 ····· 12

4. 자료 분석 ····· 13

1) 신뢰성 평가 ····· 13

2) 어류상 ····· 13

3) 서식환경 분석 ····· 14

4) 어류군집 특성을 나타내는 지수 선정 ····· 14

5) 우점도 분석 ····· 15

5. 인공어초 어장에 서식하는 어류군집 분석 ····· 17

Ⅳ. 결과 ····· 18

1. 어류상 ····· 18

2. 서식환경과 어류군집 ····· 19

1) 이화학적 환경 ····· 19

2) 물리적 환경 ····· 20

3) 물리적 환경요인이 어류군집에 끼치는 영향 ····· 23

4) 우점도 분석 ····· 27

Ⅴ. 고찰 ····· 30

Ⅵ. 결론 ····· 36

Ⅶ. 부록 ····· 38

Ⅷ. 참고문헌 ····· 56

< 표 차례 >

Table 1 Study area of artificial reef and Control plot ····· 10

Table 2 The time of field research in study area ····· 11

Table 3 The p-values of Shapiro-Wilk test and Mann-Whitney U test about salinity, disolved oxygen, and pH between artificial reefs and control plots ····· 20

Table 4 The p-value of Shapiro-Wilk test and Mann-Whitney U test about high water temperature season and low water temperature season in study area ····· 22

Table 5 The p-value of Mann-Whitney U test about Richness, Shannon diversity index, and Pielou Evenness between low and high water temperature seasons ····· 23

Table 6 The p-value of Shapiro-Wilk about Richness, Shannon diversity index, and Pielou Evenness among physical variables ····· 24

Table 7 The result of ANOVA and Kruskal-Wallis test ····· 25

Table 8 The habitat type of study area ····· 27

Table 9 Indicator value analysis ····· 28

Table 10 Average monthly water temperature by depth ····· 32

Table 11 Summary of indicator value analysis ····· 33

< 그림 차례 >

Fig. 1 The map showing the study sites in Jeju island, Korea ····· 8

Fig. 2 The map showing names of the coastal area in Jeju island, Korea ····· 9

Fig. 3 The boxplot of chemical environmental data of artificial reefs and control plots ····· 19

Fig. 4 The boxplot of seasonal water temperature in artificial reefs and control plots AR ····· 21

Fig. 5 Flow chart of study ····· 30

< 부록 차례 >

Appendix 1 The coordinates of Artificial reefs ····· 38

Appendix 2 The fish species recorded at artificial reefs and control plots in Jeju island ····· 41

Appendix 3 The physical and chemical data of study area ····· 47

Appendix 4 The Richness, Shannon diversity index, and Pielou Evenness in study area ····· 55

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경

해양생태계 건강성을 평가하는 지표 중의 하나인 생물다양성은 전 지구적인 관점에서 외해보다 연안과 근해에서 대체로 더 높게 나타난다. 이는 산호초(coral reef), 해초지(sea-grass bed), 맹그로브 군락(mangrove forest)과 같은 생물다양성이 풍부한 해양서식지들이 외해 보다는 연안해역에 주로 집중되어 있기 때문이다(Sale 1977; Gray 1997; Nybakken 1997; Spalding and Grenfell 1997). 그러나 서식지 파괴와 기후변화, 수산자원의 남획, 해양오염, 연안해역 개발, 연안 침식과 자연재해, 부영양화, 비토착종의 도입, 관광자원화, 해양쓰레기에 의해 연안 생태계는 생물서식지 감소와 어장의 생산성 저하와 같은 어려운 여건에 처해 있다(Goudie 1990; Lundin and Linden 1993; Suchanek 1994; Gray 1997; Ormond et al. 1997; Jackson et al. 2001). 특히 서식지 파괴는 연안 생태계에 피해를 주는 가장 심각한 원인 중 하나이며, 서식지를 복원 또는 보완하는 대안의 하나로 인공어초가 주목받고 있다.

어초는 다양한 생물들의 먹이사슬을 형성함으로써 연안 생태계를 풍부하게하며 해양서식지를 보호한다(Pickering 1999; Clark and Edwards 1999; Seaman 2000; Steneck et al. 2002). 인공어초는 자연어초의 기능을 대용하기 위해서 인간이 인공적인 재료나 자연적인 재료들로 만든 인위적인 구조물이다. 이는 인공적으로 해저나 해중에 구조물을 설치하여 대상 해양생물을 정착시키거나 끌어 모으고 그에 대한 보호와 배양을 목적으로 하는 어장시설로, 해양생물의 생활환경과 특성을 활용한 대표적인 수산자원 조성 방법이다.[1] 주로 시설하는 인근해역의 수산자원의 증식을 목적으로 하며 해조류나 패류 등의 부착과, 갑각류나 소형어류의 피난처와 산란처의 기능, 그리고 이들을 섭식하는 중대형 어류를 유인하는 효과를 가진다(Carlisle 1964; Bohnsack and Sutherland 1985). 인공어초가 수산자원을 위집하는 효과가 있다는 것은 오래전부터 어부들의 경험적 지식에서부터 잘 알려져 있다. 예를 들어, 17세기 일본에서는 해

1) 해양수산부(http://www.mof.go.kr/)에서 제공하는 해양수산 용어사전에서 정의하고 있다.

초의 생산력을 높이기 위해 자갈을 이용하였고, 멕시코나 쿠바 등 다양한 나라들에서도 어족자원을 보다 쉽게 잡기 위한 방법으로 통나무나 자갈, 고무 등을 자연어장에 설치하였다(National Academies Press 1988). 현재까지도 인공어초의 생물 서식지로서의 기능에 대한 연구들이 많이 이루어지고 있는데, Kimura and Munehara (2009)의 연구에서는 열악한 연안 생태계의 환경조건에 시설된 인공어초가 *Hexagrammos* spp. 등의 어류에게 대안적인 서식처로서 기능함을 확인했다.

국내에서는 UN 해양법 협약 이후 연안 어장의 생산성 약화와 연안 생태계 피해로 인해 감소하는 수산자원을 보호하고 증가시키기 위한 목적으로 인공어초사업을 실시하고 있다. 1971년에 처음으로 인공어초를 시설한 이후로 2010년까지 전국 연안 1,016개소에 1,343,078개의 인공어초가 시설되었으며, 시설인공어초의 설계와 배치, 인공어초의 자원생산 효과, 인공어초에 작용하는 물리적 특성, 인공어초 적지분석 기술개발 등에서 연구가 이루어져 왔다(한국수산자원관리공단 2011). 인공어초의 주요 재질은 콘크리트와 강제를 사용하고 있으며, 인공어초 시설시 단위어초의 최소면적은 농림수산식품부훈령 제356호에 따라 어류용어초, 어패류용어초, 강제침선어초는 16ha, 패조류용어초 및 해중림어초는 4ha로 규정하고 있다. 따라서 인공어초 어장이란 해양생물의 위집, 보호, 배양을 위해 단위 인공어초가 시설된 해역을 의미한다.

제주도는 2002년 유네스코 생물권보전지역, 2007년 유네스코 세계자연유산, 2010년 유네스코 세계지질공원에 인증된 세계적으로 보호가치가 높은 지역이다.[2] 제주도의 해양생태계는 다양성이 높고, 남부 서귀포 문섬해역을 중심으로 세계적으로 희귀한 연산호 군락을 형성하는 등 해양생태계 역시 보호 가치가 높다. 때문에 연안 생태계 생물들의 보전과 관리를 위한 방안으로 인공어초사업을 실시하고 있다(수산자원사업단 2011). 제주도 인공어초사업은 1972년 소형 사각어초를 시작으로 2010년까지 총 시설면적 30,541ha에 230,901개의 인공어초를 시설하였고 현재도 매년 새로운 인공어초 어장을 조성하고 있다(한국수산자원관리공단 2011). 제주도 인공어초관리 사업은 2004년에 시작되어 최근

2) 제주도는 2002년 유네스코 생물권보전지역 지정, 2007년 유네스코 세계자연유산 등재, 2010년 유네스코 세계지질공원 인증에 이어, 2011년 스위스 비영리재단인 뉴세븐원더스(New 7 Wonders)재단에서 세계 7대 자연경관으로 선정되었다.

2011년까지 기존 시설된 인공어초의 시설위치, 시설상태, 서식생물 상 등이 포함된 어초어장 기능평가, 적지조사에 대해 매년 사업보고가 이루어지고 있다.[3)]

제주도 연안해역은 100m 내외의 비교적 얕은 바다로 해양환경의 계절적 변화가 매우 다양하며 대만난류수, 황해난류수, 중국대륙 연안수, 한국남해 연안수, 황해저층냉수 등 다양한 수괴가 출현하는 환경이기 때문에 어종의 다양성이 매우 높은 것으로 알려져 있다(노와 Hirano 1983; Pang et al. 1992; 김과 노 1994; 김과 노 2004). 제주도 연안해역에 서식하는 어류에 대한 연구는 종에 대한 동정, 종별 다양도(diversity), 종별 유사도(similarity), 계절적 종의 변동에 대한 분석들이 수행되었다(손 등 1977; 고와 신 1988; 고와 조 1997; 명 1997; 안과 김 2000; 최 등 2003; 이 등 2009; 오 등 2010; 김 등 2011).

바닷물고기들은 형태와 습성에 따라 다양한 환경에서 서식한다(Nelson 2006). 암반의 틈이나 해초들 사이에서 영역을 지키며 살아가는 종, 모래나 특정한 면에 몸의 대부분을 접촉시키면서 땅속을 파고 들거나 구멍에 숨어사는 어종, 또는 특정 정위행동을 취하지 않고 일시적으로 인근의 구조물이나 암반해역 등에 내유하는 어류 등 다양한 행동 형태를 보인다. 특히, 인공어초 어장에 서식하는 어류들의 행동 형태별 분류에서는 어초성 어종(Reef fish), 저서성 어종(Benthic fish), 회유성 어종(Migratory fish)으로 구분한다(미래양식연구센터 2010).

어초성 어종은 주로 인공어초 내부나 암반을 서식지로 이용하는 종으로 인공어초에 몸을 접촉하거나 인공어초의 시설로 조성된 공간들을 이용하는 어류로 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)와 황놀래기(*Pseudolabrus sieboldi*), 쏨뱅이(*Sebastiscus marmoratus*) 등이 해당된다. 저서성 어종은 인공어초나 암반대에 일시적으로 출현하기는 하나 주로 모래나 모래와 자갈로 이루어진 바닥 또는 저층에 형성된 작은 구멍과 같은 공간에 숨어사는 어류로 무늬홍어(*Raja acutispina*)와 넙치(*Pseudorhombus cinnamoneus*), 양태(*Platycephalus indicus*) 등이 해당된다. 회유성 어종은 인공어초나 암반에 서식하지는 않지만 따라 섭이나 일시적인 회유 경로로서 인공어초나 암반해역에 내유하는 어류로

3) 본 연구는 국비와 제주도의 지방비를 위탁받아, 2007년과 2008년은 국립과학원 제주수산연구소, 2009년은 국립수산과학원 미래양식연구센터, 2010년은 수산자원사업단 제주사업소, 2011년은 한국수산자원관리공단 제주지사의 주관으로 작성된 조사보고서이다.

고등어(*Scomber japonicus*)와 점다랑어(*Euthynnus affinis*), 전갱이(*Trachurus japonicus*) 등이 해당된다.

특정 생태계 내에서 종들의 출현은 물리화학적인 환경요소들과 생물종들 간의 상호 영향 등에 따라 결정된다. 인공어초 어장의 생태계 또한 마찬가지인데, 인공어초 어장의 물리환경적인 조건이나 서식 생물들의 차이에 따라 종 분포가 결정된다. Stephens et al.(1994)의 연구에서는 인공어초 어장의 어류의 생체량이 계절별 수온 변동과 연 평균 수온에 따라 유의하게 달라졌다. 인공어초 어장과 비교했을 때, 암반으로 이루어진 자연어초 어장이나 모래뻘로 이루어진 어장의 어류군집 또한 다르게 나타날 수 있다. Fujita et al.(1995)의 연구에서는 인공어초 어장에서 어류군집의 다양성을 자연어초, 모래뻘 어장과 비교해 보았다. 결론적으로 어장별 어류군집의 다양성이 계절에 따라 유의한 차이가 있음을 확인하였는데, 고수온기인 7월과 9월에 차이가 가장 두드러졌다. Rilov and Benayahu(2000)는 인공어초가 시설된 수심이 15~20m일 때 인공어초를 덮은 산호의 표면적이 높을수록 어류군집의 다양성이 높아지는 것을 확인하였다. 마찬가지로 Clark and Edward(1999)의 연구에서도 인공어초가 산호 서식처로서 기능할 때 종 풍부도 또한 높아짐을 확인하였다. 동일한 서식환경을 공유하는 생물종 간의 관계 역시 종의 출현에 영향을 미친다. Leitão et al.(2007)의 연구에서는 인공어초에 서식하는 상위 포식자인 Bass의 종 풍부도가 피식자 어종들의 개체수와 양의 상관관계가 있음을 보여준다.

종의 전파에 영향을 미치는 환경요소 중 하나인 경관 연결성(landscape connectivity)은, 조각 사이에서 생물들의 이동을 원활하게 하거나 혹은 방해하는 구조적·기능적 정도로 정의된다(Bunn 2000; 이도원 2001; Berggren et al. 2001; Goodwin 2003). 해양생태계에서 서식지 간의 연결성 역시 생물들의 전파와 밀접한 연관이 있으며, 유영 능력이 낮은 유생(larva)이나 유어(juvenile) 단계에서는 해류의 이동이 개체군 연결성(population connectivity)에 큰 영향을 끼친다(Mumby 2006; Cowen and Sponaugle 2009). 뿐만 아니라 경관의 형태 또한 생물의 서식이나 이동에 큰 영향을 끼치는데, 일례로 둥근형태의 경계를 가진 경관보다는 복잡한 형태의 가장자리를 가진 경관이 다양한 생물의 유입과 전파에 유리하다(이도원 2001; Levin 2009). 따라서 인공어초가 시설되는 위치 또한 주변 자연어초에 영향을 받을 뿐만 아니라 인공어초의 형태 또한 이

를 이용하는 생물 종을 결정하는데 영향을 줄 수 있다. Santos et al.(2009)의 연구에서는 어초어장과 떨어진 거리에 따라 특정 종들에 대한 풍부도를 분석했다. 그리고 Hackradt et al.(2011)의 연구에서는 인공어초의 형태와 재질에 따라 위집하는 어류들이 차이가 있음을 밝혀냈다.

이 연구에서 말하는 인공어초 어장의 서식환경이란: 1) 시설된 인공어초의 재질이나 형태 등의 조건; 2) 인공어초가 시설된 해역의 염분, 용존산소량, pH 등의 화학적 상태; 3) 인공어초가 시설된 지역의 수온, 수심, 저질 등의 물리적 상태; 4) 서식하는 생물 종들의 구성에 따라 특성이 결정되는 해양 생물 서식지를 정의한다. 이 연구에서는 제주도 연안해역 인공어초 어장의 서식환경이 어류군집에 어떠한 영향을 끼치는 지에 대한 분석을 진행한다. 연구는 단계적으로 진행되며 그 순서는 다음과 같다. 우선 인공어초 어장환경들을 특성별로 분류하고, 서식 어류 종들의 생태에 대한 이해와 분석이 이루어지며, 그리고 어장환경이 서식 종에 끼치는 영향에 대한 분석을 실시한다.

2. 연구의 목적

제주도의 인공어초사업관리 보고서에서는 비교적 제주도 동서남북부 해역의 다양한 지점에서 조사가 이루어졌고, 대상어초의 좌표(WGS84), 수심, 수온, 염분(psu), 용존산소량, pH 등 연안해역에 시설된 인공어초 어장의 환경요소들과 해역별 채집된 어류에 대한 정량적인 자료들을 수집했다. 보고서의 어류 위집효과에 대한 내용은 주로 어류 자원의 양적인 증대에서 초점이 맞추어져 있다. 생태학적인 의미에서 보자면 단순한 종들의 양적인 증가보다는 어떠한 종들이 얼마나 다양하게 구성되어 있는지도 고려한 질적인 측면에 대한 연구 역시 필요하다. 그리고 연안해역의 환경적 조건을 반영한 어류군집(fish assemblage) 분포에 대한 연구 또한 부족한 실정이다. 제주도 연안해역에는 전역에 걸쳐 인공어초가 분포하고 있으며, 제주도 인공어초 어장에 서식하는 어류들은 제주도 연안 생태계 어류군집을 대표한다고 볼 수 있다. 따라서 제주도 연안해역의 인공어초 어장에 서식하는 어류군집이 생태학적인 의미에서는 어떻게 분포하고 있으며, 연안해역 환경요소들과는 어떠한 상관관계를 가지고 있는지에 대한 연구가 필요하다.

따라서 이 연구의 목적은 크게 세 가지로 요약된다. 첫째, 제주도 연안해역에서 서식하는 어류군집을 분석한다. 이를 위해 어류군집의 특성을 보여주는 지수들을 선정하였다. 둘째, 인공어초 어장 서식환경을 분석한다. 이를 통해 인공어초 어장에 서식하는 어류들의 개체수, 종 다양도, 종 균등도를 결정하는 환경요인을 선정한다. 셋째, 어류군집에 영향을 끼치는 환경요인들을 기준으로 서식환경을 구분한다. 그리고 이 서식환경들을 대표할 수 있는 어류 종을 선정하기 위해 종별 우점도 지수를 구한다. 이 연구는 인공어초 어장에 서식하는 어류들이 선호하는 환경에 대한 자료 구축과 앞으로 시설되는 인공어초의 적지조사를 위한 기초정보를 제공할 수 있을 것이다.

Ⅱ. 연구 자료

1. 제주도 인공어초 어장 사업관리 보고서

연구에 이용된 기본 자료는 국비와 제주도의 지방비를 위탁받아 조사되었던 인공어초 어장 관리사업의 사후관리 보고서의 내용이다. 2007년부터 2011년까지 총 5년간의 보고서의 내용이며, 2007년과 2008년의 국립과학원 제주수산연구소, 2009년은 국립수산과학원 미래양식연구센터, 2010년은 수산자원사업단 제주사업소, 2011년은 한국수산자원관리공단 제주지사의 주관으로 작성되었다. 요약하자면, 이 연구에서는 2007년부터 2011년까지 매년 독립적으로 조사되었던 인공어초 어장 기능평가와 어획조사에 대한 5년간 자료를 종합하고 이를 바탕으로 새롭게 분석하는데 의의를 두었다.[4)]

4) 본 석사 연구는 한국수산자원관리공단 제주지사의 연구 자료 지원을 바탕으로 진행되었다. 석사 연구생의 인공어초와 대한 연구를 장려하는 일환으로 제공된 소중한 자료들임을 밝힌다.

Ⅲ. 연구의 범위와 방법

1. 연구의 범위

1) 공간적 범위

이 연구는 제주도 연안해역을 대상으로 진행되었다. 제주도는 한국 서남단의 남해와 동중국해 상의 동경 126도 08분 ~ 126도 58분, 북위 33도 06분 ~ 34도 00분에 위치한 1,849.2㎢ 면적의 한반도에서 가장 큰 섬이다.[5] 제주도 연안해역에 시설된 인공어초는 1972년부터 2010년까지 총 시설면적 30,541ha에 약 1700개소의 단위어초로 시설되어 있다.[6] 연구의 대상은 인공어초 어장 관리사업의 보고서에서 2007년부터 2011년까지 조사된 110개의 어류용 인공어초와 81개의 대조구가 시설되어 있으며(Fig. 1), 좌표 정보는 Appendix 1과 같다.



Fig. 1 The map showing the study sites in Jeju island, Korea (□: Artificial reef)

5) 제주특별자치도청(http://www.jeju.go.kr/)이 제공하는 정보를 통해 확인한 내용으로 2014년 9월 29일을 기준으로 작성했다.
6) 그림의 위치정보는 세계측지계 WGS84의 좌표정보이며 이를 GIS상 인공위성지도(1:5,000)에 점(point) 정보로 구축했다.

2) 내용적 범위

상기의 어초들을 표본으로 삼은 기준은 크게 세 가지다. 첫째, 현재까지 시설된 어초들 중 대부분은 콘크리트와 강제로 만든 어초가 대다수를 차지한다. 대표적인 어초의 재질을 선택하기 위해 세라믹으로 만들어진 어초는 표본에서 제외했다. 둘째, 어획조사의 자료 중 대조구의 자료가 있는 인공어초만을 표본으로 삼았다. 때문에 비교할 수 있는 대조구에 대한 조사 자료가 없는 인공어초들은 표본에서 제외했다. 셋째, 제주도 연안해역 동서남북을 아우르는 해역의 어초를 선정했다. 그리고 제주도 본섬에는 속하지 않으나 제주도에서 관리되는 해역인 추자도 연안해역의 자료 또한 표본에 포함되었다. 다만, 인간 활동이 많은 연안해역인 제주시와 서귀포시 항구 인근의 해역은 제외되었다.

대조구를 선정한 기준은 동일한 해역 내에서 단위어초가 시설 되지 않은 어장이다. 예를 들어, 이호 해역에서 콘크리트 사각어초와 강제 상자형 어초에 대한 조사가 진행되었다면 대조구는 이호 해역 내의 인공어초가 시설되어 있지 않은 환경에서 조사되었다. 같은 맥락으로 동일한 해역 내에서 조사된 인공어초 어장들은 하나의 공통된 대조구를 가진다.



Fig. 2 The map showing names of the coastal area in Jeju island, Korea (□: Artificial reef)

2007년부터 2011년 사이 총 8차례에 걸친 기간에 조사가 이루어졌으며 조

사된 시기와 조사된 표본 인공어초, 대조구의 숫자, 조사가 이루어진 해역의 지명은 Table 1과 같다. 해역의 지명에 대한 공간적 분포는 Fig. 2과 같다.[7)]

Table 1 Study area of artificial reef (AR) and Control plot (Ctrl)

Year	Month	Type	Point counts	Study area
2007	March	AR	12	Donggwi, Oedo, Iho, Sinheung, Hamdok, Donggimnyeong, Seogimnyeong, Dongbok, Woljung, Sehwa, Hado
		Ctrl	12	
2008	August	AR	12	Samdal, Sincheon, Sinpung, Aewol, Gwiduck, Gwakji, Daepo, Sagye, Haye, Bukchon, Woljung
		Ctrl	12	
	March	AR	12	
		Ctrl	12	
2009	October	AR	8	Gangjung, Seongsan, Oedo, Geumdeung
		Ctrl	4	
2010	May	AR	16	Pyoseon, Namwon, Hahyo, Sekdal, Daejung, Panpo, Hallim, Hado, Chuja
		Ctrl	9	
	September	AR	14	Pyoseon, Namwon, Hahyo, Sekdal, Panpo, Hallim, Hado, Chuja
		Ctrl	8	
2011	July	AR	18	Daepo, Jungmun, Sagye, Daejung, Hallim, Aewol, Donggwi, Udo, Hado, Chuja
		Ctrl	12	
	October	AR	18	
		Ctrl	12	

7) 인공어초 표본구가 위치한 해역에서 연안 지명의 이름을 기준으로 공간을 분류했다. 때문에 서로 가까운 해역 내에 위치한 표본구들도 존재한다. 연안 지명은 크게 32개소이며 명칭은 다음과 같다. 동귀, 외도, 이호, 신흥, 함덕, 동김녕, 서김녕, 동복, 월정, 세화, 하도, 삼달, 신천, 신풍, 애월, 귀덕, 곽지, 대포, 사계, 하예, 북촌, 강정, 성산, 금등, 표선, 남원, 하효, 색달, 대정, 판포, 한림, 추자

2. 인공어초 어장환경 조사

보고서에서 조사된 인공어초와 대조구 어장환경은 모든 지점에서 수질다항목측정기(YSI 650, YSI Co. USA)와 CTD(Seabird 19, Otronix Co.) 장비들로 수온과 염분을 측정하였으며 채수를 하여 pH와 용존산소량이 측정되었다. 그리고 인공어초가 시설되어 있는 저질의 상태와 수심 측정을 위해 잠수조사가 병행되었으며, 인공어초의 위치정보는 세계측지계 WGS84의 좌표에 따라 기록되었다. 현장조사 기간은 2007년 3월부터 2011년 11월까지 5개년에 걸쳐 실시하였으며, 조사시기와 조사한 정점 수는 Table 2와 같다.

Table 2 The time of field research in study area (AR = Artificial reef, Ctrl = Control plot)

Time	Year	Month	Point counts	
			AR	Ctrl
1st	2007	March	12	12
2nd	2008	March	12	12
3rd	2008	August	12	12
4th	2009	October	8	4
5th	2010	May	16	9
6th	2010	September	14	8
7th	2011	July	18	12
8th	2011	October	18	12

3. 어획조사

인공어초 어장과 대조구 어장의 어획효과에 사용된 어구는 2007년~2010년도 보고서의 조사에서는 삼중자망(1폭 : 3m × 25m)으로 총 4폭(100m)을 사용하였으며, 조사 전일 오후에 투망하여 조사 당일 아침에 양망하였다. 2011년도 보고서의 조사에서는 홑자망(1폭 : 3m × 50m, ∅60mm)으로 총 3폭(150m)을 사용하였으며, 통발 100m(통발 50개, 2m 간격)가 사용되었다. 이는 조사 당일 오후에 투망하여 다음날 아침에 양망하였다. 어획된 어류는 즉시 아이스박스에 넣어 실험실로 옮겨 분류와 동정을 실시했다.

4. 자료 분석

1) 신뢰성 평가

자료의 신뢰성 평가를 위해서 분석하는 집단들에 대한 정규성 검정을 실시하였다. 검정을 위한 방법으로는 Shapiro and Wilk(1965)의 Shapiro-Wilk test를 수행하였다. 정규성의 가정에 만족할 경우(p-value>0.05) 두 집단 간의 평균의 차이가 있는지에 대한 분석은 t-test를, 세 집단 이상의 분석에는 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 만약 정규성의 가정에 위배될 경우(p-value<0.05) 두 집단 간의 분석에서는 비모수 검정인 Mann and Whitney(1947)의 Mann-Whitney U test를, 세 집단 이상의 분석에서는 비모수 검정인 Kruskal and Wallis(1952)의 Kruskal-Wallis test를 수행하였다.

2) 어류상

5년간 어획조사를 통해 채집된 어류를 정리하였다. 인공어초 어장과 대조구 어장에서 출현한 어류를 구분하였다. 어류의 개체수와 전체 출현한 개체수에 대한 종별 출현 비율을 통해 출현율이 높은 어류들을 조사하였다. 그리고 어류 종별의 생태적 습성을 최 등(2002)과 명(2009)의 자료를 이용하여 어초성, 저서성, 회유성의 세 가지 특성으로 구분하였다(미래양식연구센터 2010).

3) 서식환경 분석

우선, 인공어초와 대조구 사이에 화학적 환경요인인 염분, 용존산소량, pH가 차이가 있는지 통계적 검정을 실시했다. 만약 분석 결과 유의한 차이가 없는데도 불구하고 어류군집이 차이가 날 경우, 이는 염분, 용존산소량, pH를 배제한 다른 환경요인의 영향으로 판단할 수 있다. 수온과 인공어초의 재질과 유무, 저질상태, 수심은 물리적 환경요인으로서 어류군집에 영향을 끼치는 환경요인을 선정하기 위한 변수로서 이용되었다.

4) 어류군집 특성을 나타내는 지수 선정

조사지점별 어류군집의 특성을 보여주는 지수들을 선정하였다. 선정한 지수는 세 가지이다. 첫째, 지점별 어류의 총 개체수에 대한 지수이다. 이는 종풍부도(richness: R)이며, 지점에서 출현한 총 어류의 개체수 x를 $\log(x+1)$로 치환하여 사용하였으며 최소 1마리 이상 출현한 종들에 대해서만 분석했다. 그리고 군집 내 종의 다양성을 평가하기 위한 Shannon and Weaver(1963)의 종다양도 지수(diversity index: H)와 군집 구성 생물종 간의 개체수의 균등도를 평가하기 위해 Pielou(1966)의 균등도 지수(evenness: J)를 산출하였으며 식은 다음과 같다.

$$R = \log(x+1)$$

$$H = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln p_i$$

$$J = H / \ln S$$

x : 출현한 총 개체수

S : 출현한 종 수

p_i : 출현한 총 개체수 중 i번째 종의 개체수가 차지하는 비율

종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도 지수는 어류군집 특성 지수들로서 종속변수로서 통계적 분석에 이용하였으며다. 그리고 조사 지점의 물리화학적 환경인 염분, 용존산소량, pH, 수온, 수심, 저질의 상태, 인공어초의 재질은 어류군집 특성 지수들에 영향을 끼치는 독립변수들로서 통계적 검정에 사용되었다.

5) 우점도 분석

인공어초 어장의 서식지 환경특성에 따라 지표가 되는 우점종을 선정하기 위해 어류 종별 우점도 값(indicator value)을 산출하였다. 분석에는 Dufrêne와 Legendre의 IndVal 지수(1997)를 이용하였으며 식은 다음과 같다.

$$IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

A_{ij} : Fidelity, j집단 내 전체 종들의 개체수 중 종i의 비율

B_{ij} : Specificity, j집단 내 전체 조사구들 중 종i가 존재하는 조사구의 비율

IndVal 지수의 식에서 A_{ij}는 Fidelity를 산출한다. Fidelity는 전체 조사구들 중 부분 집단 내에 출현한 특정 종의 상대 빈도를 설명한다. A_{ij}에서 j집단이란, 전체 조사구들을 특정 기준으로 나눌 때 구분된 하나의 조사구 그룹을 말한다. 예를 들면, 전체 인공어초 조사구들을 물리적 특성에 따라 몇 가지의 서식지 유형으로 구분한다. 구분한 서식지 유형 중 하나인 j집단에서 출현하는 종들의 총 개체수가 100이라고 가정할 때, 여기에서 종i가 10개체 출현 한다면 A_{ij}의 값은 0.1이다. B_{ij}는 Specificity를 산출한다. Specificity는 전체 조사구들 중 부분 집단 내에 특정 종이 출현하는 조사구의 상대 빈도를 설명한다. 예를 들면, 전체 조사구들 중에서 j집단에 속하는 조사구들이 10곳이 있을 때 종i가 3곳에서 출현한다면 B_{ij}의 값은 0.3이다. IndVal 지수를 구할 때 인공어초 어장 서식환경을 특성 별로 분류하기 위한 기준은 어류군집 특성 지수들과 통계적으로 유의한 환경요인들에서 선정한다. 일반적으로 지표종의 선정에는 개체수

가 높은 종들을 우선적으로 고려한다. 그러나 IndVal의 우점도 값은 특정 환경에서 개체수가 높은 종들의 출현 또한 고려한다. 예를 들어, 10개의 인공어초 어장에서 모두 고르게 가장 많은 비율로 출현한 A종보다는 10개의 지점 중 4개의 콘크리트 인공어장에만 출현한 B종의 우점도 값이 높게 구해지며, 대표 우점종으로 선정이 된다.

위의 모든 분석들은 RStudio version 0.96.316으로 이루어졌다. 어류군집의 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도 분석에는 Community Ecology Package인 vegan을 사용하였고, 어류 종별 우점도 값을 산출하는 데에는 Ordination and Multivariate Analysis for Ecology Package인 labdsv를 사용하였다.

5. 인공어초 어장에 서식하는 어류군집 분석

인공어초 어장에 서식하는 어류군집은 주로 크게 두 가지 물리적 환경요인에 의해 영향을 받을 것으로 예상된다. 첫째는 수온에 의한 영향이다. 계절별로 고수온기와 저수온기로 구분했을 경우, 상대적으로 난류와 한류가 만나 잘 섞이는 시점인 고수온기에 생물다양성이 높게 측정될 것이다(Pang et al. 1992; 김과 노 2004). 그리고 깊은 수심보다는 상대적으로 수온이 높은 얕은 수심에서 생물다양성이 높을 것이다. 이는 깊은 수심에 비해 연안의 15m 내외의 수심이 생물들에게 먹이활동, 은신, 산란에 좋은 환경이기 때문이다(Rilov and Benayahu, 2000). 오 등(2010)과 김 등(2011)의 연구에서는 제주 인공어초 내부에 서식하는 어류군집의 종 다양성이 고수온기가 저수온기에 비해 높음을 확인했다. 둘째는 인공어초의 재질에 의한 영향이다. 인공어초에 부착해서 살아가는 부착성 무척추동물이나 해조류 등은 인공어초의 재질에 따라 출현종과 밀도가 달라지기도 하며, 대게 콘크리트 인공어초에서 자라는 해조류의 다양성과 생체량은 강제 콘크리트 인공어초 보다 높게 측정된다(제주수산연구소 2009). 쥐노래미(*Hexagrammos agammus*)는 10월~1월경 암반이나 해조류에 산란을 하는데, 이는 10월~1월경 쥐노래미의 산란철에는 강제어장보다 해조류의 밀도가 높은 콘크리트 어장에서 쥐노래미의 출현률이 높을 것으로 예상해 볼 수 있다. 마찬가지로 비슷한 생태적 습성을 가진 쥐노래미과(*Hexagrammidae*)들의 출현도 높을 것으로 예상되며 특정 종의 증가는 종 균등도에 영향을 끼칠 수 있다.

우점종을 선정하기 위해 인공어초 어장들을 서식지 유형별로 분류한다. 서식지 유형을 구분하는 기준은 인공어초 어장과 대조구 어장의 어류군집 특성 지수와 통계적으로 유의한 결과를 가지는 환경요인들이다. 따라서 이 연구에서는 염분, 용존산소량, pH, 수온, 수심, 저질상태, 인공어초 재질에서 결정된다. 그리고 결정된 서식지 유형들에서 우점하는 어류 종별 IndVal 지수를 구한다. 어류 종들의 생태적 특성을 감안하여 인공어초 어장 서식환경에서 우점하는 어류 종들을 최종적으로 평가하였다.

Ⅳ. 결과

1. 어류상

출현 어류는 5년간 총 136종 2985 개체가 채집되었으며, 인공어초 표본구에서는 122종 1974개체, 대조구에서는 90종 1011개체가 출현했다(Appendix 2). 쏨뱅이(*Sebastiscus marmoratus*)가 전체의 12.09%를 차지하여 우점종으로 나타났으며, 쥐치(*Stephanolopis cirrhifer*)가 9.55%로 아우점종이었다. 인공어초 표본구의 우점종은 쏨뱅이(*Sebastiscus marmoratus*)로 13.62%를 차지하였으며 그 다음은 쥐치(*Stephanolopis cirrhifer*), 황놀래기(*Pseudolabrus sieboldi*), 붕장어(*Conger myriaster*), 청줄돔(*Chaetodontoplus septentrionalis*)이 각각 9.57%, 8.46%, 3.60%, 3.60%의 순으로 출현했다. 대조구의 우점종은 두툽상어(*Scyliorhinus torazame*)와 쥐치(*Stephanolopis cirrhifer*)로 9.50%를 차지하였으며, 그 다음은 쏨뱅이(*Sebastiscus marmoratus*), 황놀래기(*Pseudolabrus sieboldi*), 호박돔(*Choerodon azurio*)이 각각 9.10%, 5.54%, 4.35%의 순으로 출현했다.

인공어초 비교구에서 출현한 어초성 어종(Reef fish)은 60종, 저서성 어종(Benthic fish)은 52종, 회유성 어종(Migratory fish)은 10종이 출현했다. 대조구에서 출현한 어초성 어종은 43종, 저서성 어종은 42종, 회유성 어종은 5종이 출현했다. 상대적으로 회유성 어종의 출현이 적은 데에 반해, 어초성 어종과 저서성 어종은 유사한 비율로 각각의 어장에 출현함을 확인했다.

2. 서식환경과 어류군집

1) 이화학적 환경

인공어초와 대조구 간의 염분, 용존산소량, pH에 대해 차이가 있는지 알아보기 위해 통계검정을 실시하였다. 항목별 값들의 차이가 크게 없는 것을 확인할 수 있는데(Fig. 3), 왜냐하면 대조구의 환경을 측정할 때 기본적으로 이화학적 환경이 동일하거나 최대한 비슷한 지점에서 이루어졌기 때문으로 판단된다. 표본들의 염분, 용존산소량, pH가 정규성 검정에 위배되었기 때문에 Mann-Whitney U 검정을 이용하였다. 검정 결과, 인공어초와 대조구 간의 염분, 용존산소량, pH는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3). 그러므로 인공어초와 대조구의 염분, 용존산소량, pH 차이가 어류군집의 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도에 끼치는 영향은 없는 것으로 판단했다.

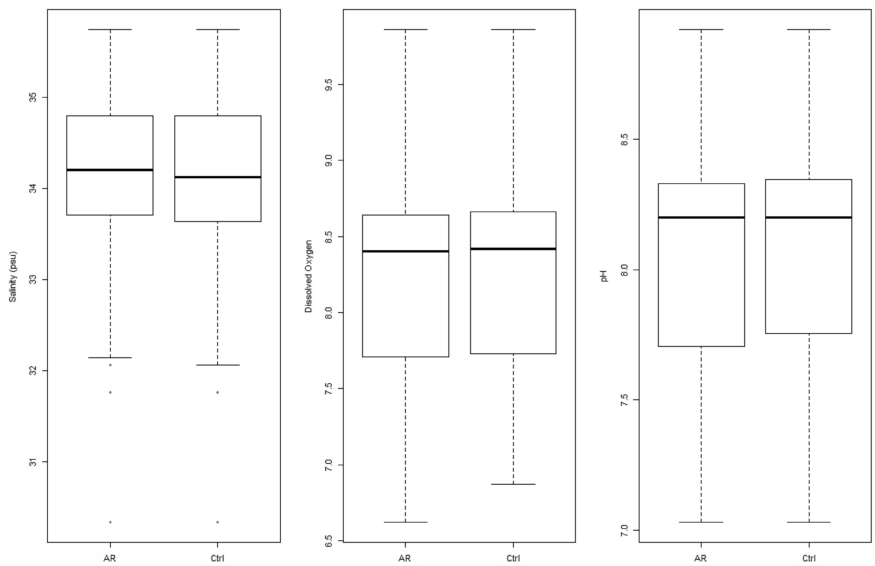


Fig. 3 The boxplot of chemical environmental data of artificial reefs and control plots (AR = Artificial reef, Ctrl = Control plot)

Table 3 The p-values of Shapiro-Wilk test and Mann-Whitney U test about salinity, disolved oxygen (DO), and pH between artificial reefs and control plots

Test	p-value		
	Salinity (psu)	DO (mg/L)	pH
Shapiro-Wilk	<0.001*	<0.001*	<0.001*
Mann-Whitney U	0.676	0.695	0.792

*p < 0.05

2) 물리적 환경

인공어초와 대조구의 월별 수온을 상자 도표(boxplot)로 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다. 3월에 조사된 인공어초와 대조구의 정점은 각각 24개의 정점에서 측정되었다. 5월에 조사된 인공어초의 정점은 16개 정점이며, 대조구의 경우 9개의 정점에서 측정되었다. 7월에 조사된 인공어초와 대조구의 정점은 각각 18개와 12개, 8월은 모두 12개 씩, 9월은 14개와 8개, 그리고 10월은 26개와 16개 정점에서 조사되었다. 3월과 5월의 평균 수온은 인공어초와 대조구 모두 14.53℃, 17.07℃ 이다. 반면, 7월부터 10월에 사이에 조사된 정점들의 평균 수온은 월별 차례대로 인공어초는 21.54℃, 23.75℃, 20.30℃, 22.36℃ 이고, 대조구는 21.49℃, 23.75℃, 20.39℃, 22.63℃ 이다. 3월에서 5월사이의 조사된 정점들과 7월부터 10월까지 조사된 정점들 간의 수온 평균의 차이가 극명했으므로, 3월 5월을 저수온기, 7월부터 10월을 고수온기로 나누었다. 그리고 저수온기와 고수온기에 대한 구분이 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 확인하기 위해 통계 검정을 실시하였다. 그 결과 통계적으로 5% 유의 수준에서 수온의 차이가 있었으므로(Table 4) 3월과 5월은 저수온기, 7월부터 10월은 고수온기로 구분하였다.

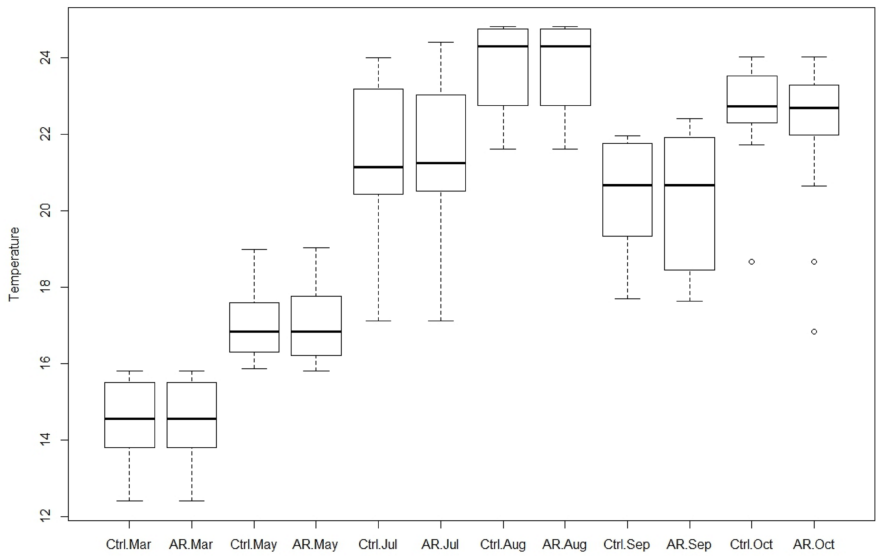


Fig. 4 The boxplot of seasonal water temperature in artificial reefs and control plots (AR = Artificial reef, Ctrl = Control plot, Mar = March, Jul = July, Aug = August, Sep = September, Oct = October)

인공어초의 재질은 대조구 어장(Ctrl: control plot)과 콘크리트(concrete: Conc) 인공어초, 강제(Steel) 인공어초 세 가지로 구분해 분석하였다. 재질에 대조구를 포함한 이유는 인공어초의 유무가 어류군집에 끼치는 영향을 확인하기 위함이다. 인공어초가 시설된 저질의 상태는 사질이 주를 이루거나 사질 이하의 입자로 이루어진 저질은 사질(sand: S)로 통합하였다. 그리고 사질의 저질 상태를 제외하고 암초로 구성된 곳(rock: R)과 사질과 암초가 혼재하는 곳(sand and rock: SR), 총 3가지의 저질 상태로 구분하였다.

인공어초 어장의 수심은 최소 17.00m, 평균 30.03m, 최대 46.00m 이고 대조구 어장은 최소 17.00m, 평균 28.98m, 최대 46.00m이다. 인공어초 어장 표본구와 비슷한 물리환경 조건이 대조구로 선정되었기 때문에 인공어초 어장과 대조구 어장의 수심 분포는 거의 비슷하였다. 때문에 수심은 조사된 지역들의 평균 수심을 기준으로 25m 이하의 수심(사분위수 Q1이하)을 얕은 수심대(sallow: S), 25~35m 수심(사분위수 Q1~Q3)을 평균 수심대(mean: M), 35m

이하(사분위수 Q3이상)를 깊은 수심대(deep: D)로 세 가지 수심대로 분류했다. 구분된 물리적 환경들은 어류군집에 영향을 끼치는 환경요인들을 분류하기 위한 기준으로 사용되었으며, 통계적 분석을 위해 정리된 모든 인공어초와 대조구 어장의 물리화학적 환경에 대한 종합적인 자료는 Appendix 3과 같다.

Table 4 The p-value of Shapiro-Wilk test and Mann-Whitney U test about high water temperature season and low water temperature season in study area

Test	p-value
Shapiro-Wilk	0.001
Mann-Whitney U	**<0.001***

*$p < 0.05$

3. 물리적 환경요인이 어류군집에 끼치는 영향

어류군집 분석을 위해 모든 인공어초 표본구와 대조구의 종 풍부도(R), 종 다양도(H), 종 균등도(J) 지수들을 산출하였다(Appendix 4). 우선 수온의 차이가 어류군집에 영향을 끼치는지에 대한 검정을 실시하였다. 고수온기와 저수온기로 나눈 두 집단의 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도의 평균의 차이가 통계적으로 유의한지 검정하였다. 검정 결과, 종 풍부도와 종 다양도, 종 균등도 모두 수온에 대해 통계적으로 유의했다(Table 5). 그러므로 수온의 영향을 배제하기 위해 다른 환경 요인의 영향에 대한 통계 검정에는 저수온기 정점들과 고수온기 정점들을 구분하였다.

Table 5 The p-value of Mann-Whitney U test about Richness (R), Shannon diversity index (H), and Pielou Evenness (J) between low and high water temperature seasons

	R	H	J
Mann-Whitney U test p-value	**<0.001***	**<0.001***	**<0.001***

*$p < 0.05$

검정에 앞서 실시한 집단들 간의 Shapiro-Wilk 정규성 검정 p 값은 Table 6과 같다. 정규성 검정에서 집단들이 정규 분포를 따르고 있는 경우 분산분석으로 검정을 하였고, 정규성 가정에 위배될 경우 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였다.

Table 6 The p-value of Shapiro-Wilk about Richness (*R*), Shannon diversity index (*H*), and Pielou Evenness (*J*) among physical variables (Low = low temperature, High = high temperature, Mat = material of artificial reef, Bot = type of bottom, Dep = depth)

Diversity index	Low/Mat	Low/Bot	Low/Dep	High/Mat	High/Bot	High/Dep
Richness (*R*)	**0.478**	**0.921**	**0.669**	**0.666**	**0.599**	**0.090**
Shannon diversity (*H*)	<0.001*	<0.001*	0.003*	<0.001*	0.017*	**0.134**
Pielou Evenness (*J*)	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.004*	0.004*

*$p < 0.05$

Table 7 The result of ANOVA and Kruskal-Wallis test (R = richness, H = Shannon diversity index, J = Pielou evenness index, Low = low temperature, Hig = high temperature, Mat = material of artificial reef, Bot = type of bottom, Dep = depth)

	Low/Mat			**Low/Bot**			**Low/Dep**			**Hig/Mat**			**Hig/Bot**			**Hig/Dep**		
R	df	F	p-value	df	F	p-value	df	F	p-value	df	F	p-value	df	F	p-value	df	F	p-value
	2	3.2959	**0.043***	2	0.9001	0.411	2	0.3796	0.686	2	6.858	**0.002***	2	4.7203	**0.011***	2	1.5265	0.222
H	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	df	F	p-value
	14.8234	2	**<0.001***	3.3522	2	0.187	5.1895	2	0.075	9.2128	2	**0.010***	7.1727	2	**0.028***	2	2.67	0.074
J	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value	χ^2	df	p-value
	0.5402	2	0.763	1.3992	2	0.497	0.13	2	0.937	4.8338	2	0.089	4.1008	2	0.129	4.1008	2	0.129

*$p < 0.05$

분산분석과 Kruskal-Wallis 검정 결과는 Table 7과 같다. 저수온기와 고수온기 모두 인공어초 재질의 차이가 종 풍부도(저수온기 p-value = 0.043, 고수온기 p-value = 0.002)와 종 다양성(저수온기 p-value = 0.001, 고수온기 p-value = 0.010)에 대해서 통계적으로 유의하다. 이는 인공어초의 시설이 종의 양적 증가에 영향을 끼친다고 해석할 수 있다. 그리고 인공어초의 재질에 따라서도 위집하는 어류군집의 종 풍부도에 차이가 있음을 알 수 있다. 고수온기에는 인공어초 어장 저질의 상태에 따라 종 풍부도(p-value = 0.011)와 종 다양성(p-value = 0.028)이 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 이는 상대적으로 어류의 다양성이 높은 고수온기에는 인공어초의 유무뿐만 아니라 서식지 저질의 유형에 따라서도 생물 종의 양적 증가나 종 구성 등에 영향을 끼친다고 볼 수 있다.

반면에 종 균등도에 대해서는 어떠한 집단에서도 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(p-value > 0.05). 이는 크게 두 가지 측면에서 해석해 볼 수 있다. 첫째, 수온의 영향을 배제할 경우 인공어초의 유무나 저질의 상태 혹은 수심이 종 균등도에 미치는 영향이 없다고 볼 수 있다. 다시 말해, 이 연구에서 투입된 물리적 변수들은 어류 종들의 고른 분포를 위해서는 영향을 미치지 않는다는 것이다. 둘째, 인공어초 어장 서식환경에서 인공어초의 재질이나 저질 상태는 특정 종들에 한해서만 긍정적인 영향을 끼친다고 볼 수 있다. 인공어초의 재질이나 저질 상태가 종 풍부도와 종 다양도에는 긍정적인 영향을 끼친 부분이 있다. 종 풍부도와 종 다양도는 종수나 종들의 개체수가 증가할 때 함께 증가를 한다. 반면, 종 균등도는 전체적으로 종수와 종들의 개체수가 고르게 증가할 때 함께 증가를 한다. 다시 말해 인공어초의 시설이 종의 균등도 측면에서는 긍정적인 영향을 기대하기 어렵다고 볼 수 있다.

4. 우점도 분석

물리환경에 따라 서식지 유형을 구분하였다. 어류군집 분석에서 통계적으로 유의한 관계가 없었던 수심에 대해서는 서식지 유형 구분을 하지 않았다. 따라서 물리환경 특성에 따른 서식지 유형 구분은 수온과 인공어초의 재질, 저질 상태에 따라 분류된다(Table 8).

서식지 유형은 총 11개의 유형으로 분류하였으며 저수온기, 강제 인공어초, 암반환경의 서식지 유형은 존재하지 않았다. 조사된 서식지들은 인공어초 어장 110개소 중 유형별로 A 유형 15개소, B 유형 14개소, C 유형 3개소, D 유형 3개소, E 유형 5개소, F 유형 19개소, G 유형 16개소, H 유형 5개소, I 유형 11개소, J 유형 15개소, K 유형 4개소로 분류되었다. 분류된 11개의 서식지 유형에서 IndVal 지수의 p 값이 0.2 이하인 어류 종들을 구하였다(Table 9).

Table 8 The habitat type of study area

Temperature	Material	Bottom type	Habitat type
Low	Concrete	Sand or (Sand+Mud)	A
Low	Concrete	Sand and Rock	B
Low	Concrete	Rock	C
Low	Steel	Sand or (Sand and Mud)	D
Low	Steel	Sand and Rock	E
High	Concrete	Sand or (Sand and Mud)	F
High	Concrete	Sand and Rock	G
High	Concrete	Rock	H
High	Steel	Sand or (Sand and Mud)	I
High	Steel	Sand and Rock	J
High	Steel	Rock	K

IndVal 지수의 p 값이 0.05 수준에서 통계적으로 유의한 대표 우점종은 총 7종이다. 저수온기에는 조피볼락, 왜넙치, 두줄촉수, 육동가리돔이 대표 우점종이다. 조피볼락은 사질의 저질에 시설된 콘크리트 인공어초에서 우점하였다. 반면, 암반에 시설된 콘크리트 인공어초에는 왜넙치, 두줄촉수, 육동가리돔이 우점하였다. 고수온기에는 참돔, 무늬홍어, 황놀래기가 대표 우점종이다. 참돔은 사질의 저질에 시설된 콘크리트 인공어초에서 우점하였다. 반면, 사질의 저질에 시설된 강제 인공어초에서는 무늬홍어가 우점하였다. 황놀래기는 암반에 시설된 강제 인공어초에서 우점하였다.

Table 9 Indicator value analysis (Abb. = abbreviation, pref. = preference, Freq. = Frequency, R = reef, B = benthic, Low = low temperature, High = high temperature, Conc = concrete, S = sand or (sand and mud))

Abb.	Korean name	Habitat pref.	Habitat type	IndVal index	p-value	Freq.	Habitat
SebSc	조피볼락	R	A	0.271	**0.034***	15	Low-Conc-S
TarOl	왜넙치	B	C	0.333	**0.046***	1	Low-Conc-R
ParSp	두줄촉수	B	C	0.310	**0.026***	8	Low-Conc-R
NipNp	다금바리	R	C	0.278	0.085	2	Low-Conc-R
SebTe	붉은쏨뱅이	R	C	0.275	0.083	2	Low-Conc-R
EviAc	육동가리돔	R	C	0.220	**0.040***	4	Low-Conc-R
CanRi	청복	R	C	0.186	0.160	3	Low-Conc-R
DasAk	노랑가오리	B	D	0.261	0.055	10	Low-Steel-S
CocCr	까지양태	B	D	0.162	0.165	6	Low-Steel-S
PagMa	참돔	R	F	0.428	**0.005***	30	High-Conc-S
ConMy	붕장어	B	F	0.250	0.083	20	High-Conc-S
ParTr	벤자리	R	G	0.189	0.161	22	High-Conc-SR
HalPo	용치놀래기	R	G	0.188	0.138	3	High-Conc-SR
ScoNe	살살치	B	H	0.200	0.183	1	High-Conc-R
GonZo	아홉동가리	R	H	0.165	0.159	9	High-Conc-R
RajAc	무늬홍어	B	I	0.284	**0.033***	36	High-Steel-S
NarJa	전기가오리	B	I	0.200	0.083	5	High-Steel-S
PseSi	황놀래기	R	K	0.354	**0.012***	29	High-Steel-R
ChaSe	청줄돔	R	K	0.189	0.152	36	High-Steel-R

*$p < 0.05$

대표 우점종으로 선정된 종들 중에는 왜넙치, 두줄촉수, 육동가리돔이 동일한 환경조건 내에서 우점하였으며, 조피볼락과 참돔, 무늬홍어, 황놀래기는 각기 다른 환경을 대표하였다. 그러나 왜넙치는 출현 빈도(Freq. = 1)가 상대적으로 매우 낮기 때문에 우점종으로 선정하기에는 적합하지 않다고 판단하였다. 저수온기의 강제 인공어초와 사질과 암반이 혼재하는 환경에서는 우점종이 존재하지 않았다.

Ⅴ. 고찰

이 연구에서는 2007년부터 2011년까지 발행된 제주도 연안 인공어초 관리사업 보고서의 내용을 기반으로, 연안해역에 시설된 인공어초 어장환경을 선정하고 대조구와 비교하여 서식하는 어류군집에 영향을 끼치는 환경요인들을 비교·분석하였다. 그리고 어류군집에 영향을 끼치는 환경요인들을 기준으로 인공어초 어장을 서식지 유형별로 분류하였다. 최종적으로, 분류된 서식지 유형들을 대표할 수 있는 어류 종들을 우점도 분석을 통해 선정하였다(Fig. 5).

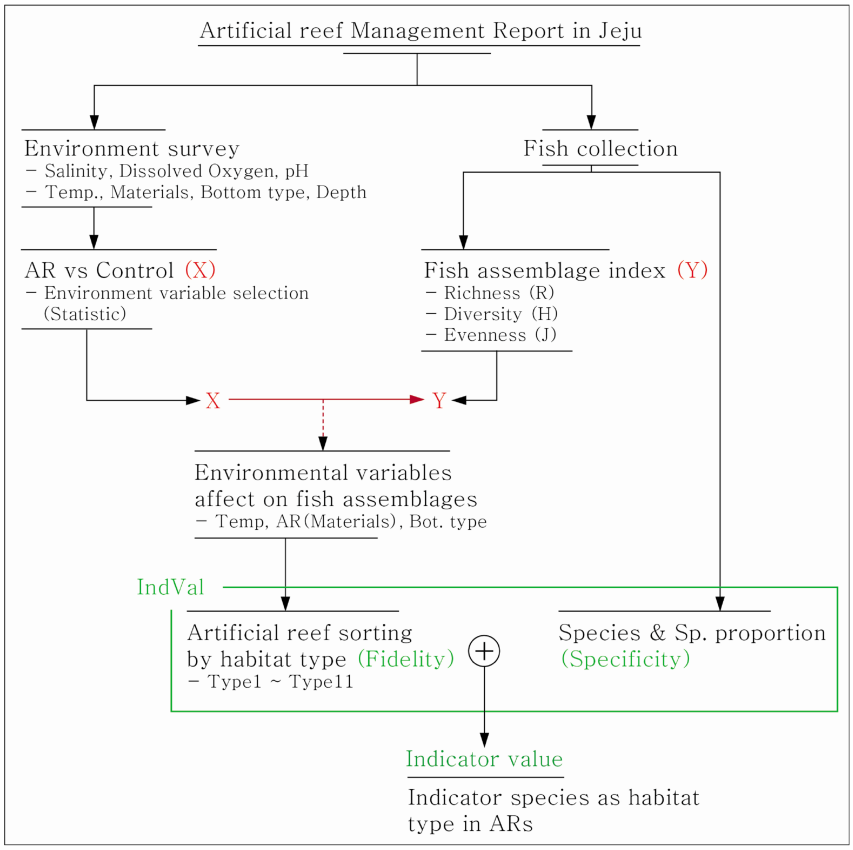


Fig. 5 Flow chart of study

이화학적 환경특성인 염분, 용존산소량, pH는 인공어초 어장과 대조구 어장의 어류군집에 끼치는 영향을 확인할 수 없었다. 물리적 환경요인들과 어류군집의 관계는 다음과 같다.

수온은 시기에 따라 크게 저수온기와 고수온기로 나누었다. 저수온기인 3월과 5월, 그리고 저수온기인 7월부터 10월까지 두 집단간 어류군집의 종 풍부도, 종 다양도, 종 균등도의 차이가 통계적으로 유의했다. 이는 저수온기에 비해 고수온기에는 난류와 한류의 영향이 모두 크고 때문에 출현한 어류의 종수와 개체수가 더 많았다. 그러므로 어류군집 지수가 전반적으로 저수온기에 비해 고수온기에 더 높게 측정이 되었다.

인공어초의 설치유무에 따라서는 대조구에 비해 콘크리트 인공어초 어장과 강제 인공어초 어장의 종 풍부도와 종 다양도 지수가 높았다. 이는 인공어초가 어류를 위집하는 효과를 증명한다. 그리고 인공어초의 재질에 따라서는 강제 인공어초 어장에 비해서 콘크리트 인공어초 어장의 종 풍부도와 종 다양도 지수가 더 높았는데, 이는 콘크리트 어장에 출현한 종수가 강제 어장에 비해 많았기 때문이다. 콘크리트 인공어초에는 강제 인공어초 보다 대체로 많은 무척추 생물군과 부착생물군들이 서식한다(미래양식연구센터 2010; 수산자원사업단 2011). 특히 부착생물군의 표면에는 해조류, 규조류, 미소 무척추 동물 등이 붙어서 서식하기 용이하다(Hosack et al. 2006). 잠재적으로 이들을 먹이로 하거나 서식지로 활용하는 어류종의 출현 또한 예상되기 때문에 강제 인공어초에 비해 콘크리트 인공어초의 어류 군집지수가 더 높은 것으로 판단된다.

저수온기에는 인공어초가 시설된 저질의 상태가 어류군집에 끼치는 영향을 확인할 수 없었다. 반면, 고수온기는 저질 상태에 따라 종 풍부도와 종 다양도가 통계적으로 유의한 차이를 보였다(사질 > 사질+암반 > 암반). 암반에 시설된 인공어초의 종 풍부도와 종 다양도는 사질, 사질과 암반이 혼재한 곳에 시설된 인공어초에 비해 낮았다. 암반에 시설된 인공어초에서는 주로 어초성 어종들이 출현한 반면, 사질과 사질, 암반이 혼재한 곳에 시설된 인공어초에서는 어초성 어종과 저서성 어종들이 다양하게 출현하였다. 이 결과에서, 인공어초가 자연어초의 기능을 어느 정도 수행함을 유추해볼 수 있다(Perkol-Finkel et al. 2006). 때문에 사질지형에 인공어초를 시설하면 기존 사질에 서식하는 어류들도 이용할 수 있을 뿐만 아니라(주로 저서성 어류들), 암초를 선호하는

어초성 어류들의 이용을 유도할 수 있다. 결과를 바탕으로 보면, 사질 어장에 인공어초를 시설하였을 때 종의 다양성과 풍부도의 양적 증대에 큰 효과를 볼 수 있을 것이다.

반면, 수심은 어류군집에 큰 영향을 끼치지 않았다. 제주도 연안해역에 시설된 인공어초는 주로 15~40m 수심대에 분포하고 있다. 수심별 시설된 인공어초 정점들의 월평균 수온 차이는 크지 않았다(Table 10). 이 결과는 연안해역에 인공어초를 시설할 때에 어류들의 종 풍부도와 종 다양도를 고려할 때에는 수심의 영향이 크지 않음을 의미한다. 따라서 일반적으로 인공어초의 적지 선정에서 수심을 고려할 때에는 유실이나 파손의 영향이 있을 수 있는 위치를 제외한 후, 다양한 수심대에 골고루 시설함이 효율적일 것이다.

Table 10 Average monthly water temperature (℃) by depth

	S (< 25 m)	M (25 ~ 35 m)	D (> 35 m)
March	14.42	14.61	-
May	16.79	16.61	17.50
July	19.31	22.55	20.83
August	23.16	24.17	-
September	20.20	20.99	19.51
October	20.53	22.73	22.92

어류군집 특성 지수 중 하나인 종 균등도는 조사된 환경 요인들과 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 인공어초의 시설이 어류의 양적인 증대에는 효과적이지만, 다양한 종들을 비율적으로 고르게 위집하는 데에는 효과가 낮음을 의미한다. 즉, 인공어초의 시설은 어류의 개체수와 다양성을 증대시키는 데에는 영향을 끼칠 수 있으나, 다양한 어류들을 비율적으로 균등하게 위집하는 데에는 효과가 높지 않음을 알 수 있다.

환경요인이 인공어초에 끼치는 영향에 대한 분석을 토대로 분류한 인공어초 어장 서식지 유형은 11개소이다. 우점도 분석에서 우점도 지수, p 값, 출현빈도를 고려했을 때 특정 서식지 유형을 대표할 수 있는 어류는 총 6종이다

(Table 11). 각 종들에 대한 생태 정보는 국립수산과학원 수산생명자원정보센터의 생물종 공개 자료와[8] 명(2009)과 Allen at al. (2003)의 도감 정보를 활용하였다.

Table 11 Summary of indicator value analysis (Abb. = abbreviation, pref. = preference, Freq. = Frequency, R = reef, B = benthic, Low = low temperature, High = high temperature, Conc = concrete, S = sand or (sand and mud))

Abb.	Korean name	Habitat pref.	Habitat type	IndVal index	p-value	Freq.	Habitat
SebSc	조피볼락	R	A	0.271	**0.034***	15	Low-Conc-S
ParSp	두줄촉수	B	C	0.310	**0.026***	8	Low-Conc-R
EviAc	육동가리돔	R	C	0.220	**0.040***	4	Low-Conc-R
PagMa	참돔	R	F	0.428	**0.005***	30	High-Conc-S
RajAc	무늬홍어	B	I	0.284	**0.033***	36	High-Steel-S
PseSi	황놀래기	R	K	0.354	**0.012***	29	High-Steel-R

*$p < 0.05$

조피볼락*(Sebastes schlegeli)*은 저수온기 사질에 시설된 콘크리트 어장에서 우점하였다. 국내에 서식하는 조피볼락은 수온이 내려가는 가을에서 겨울사이에 상대적으로 수온이 높은 남쪽으로 계절회유를 한다. 그리고 4월에서 6월은 조피볼락의 산란기이며 부화한 치어들은 무리지어 생활을 한다. 주로 해조류나 숨을 공간이 있는 어초 등에서 치어들이 무리생활을 하는 것을 관찰할 수 있는데, 제주 연안해역은 저수온기에도 15℃ 내외이고 콘크리트 인공어초는 부착해조류들이 생육하기에 좋은 조건이기 때문에 조피볼락이 우점하는 것으로 보여진다.

두줄촉수*(Parupeneus spilurus)*와 육동가리돔*(Evistias acutirostris)*은 저수온기 암반에 시설된 콘크리트 어장에서 우점하였다. 이 어류종들은 아열대성의 어류이지만 최근 제주 연안해역에서도 많이 발견되는 종이다. 이 연구에서는 저수온기 암반에 시설된 콘크리트 인공어초를 대표할 수 있는 종들이었으며, 이는 과

8) 본 정보는 국립수산과학원 웹사이트(http://portal.nfrdi.re.kr/frcenter/oceanlife/)의서 생물종에 대한 공개정보이다.

거에 비해 제주 연안해역의 수온이 변화하였음을 보여준다(정 등 2013).

참돔*(Pagrus major)*은 고수온기 사질에 시설된 콘크리트 어장을 대표하는 우점종이다. 어초성 어종이며 잡식성으로 새우나 갯지렁이, 어류 등을 섭식한다. 4~6월이 산란기이며 산란기 동안에는 무리지어 생활한다. 생태적 특성에 비추어 보면 산란과 먹이활동에 유리한 서식지로서 고수온기의 사질에 시설된 콘크리트 어장에서 우점한 것으로 보여진다.

무늬홍어*(Raja acutispina)*는 고수온기 사질에 시설된 강제 인공어초 어장에서 우점하였다. 무늬홍어는 저서성 어종으로 먹이활동과 은신을 위해 하루 중 대부분을 모래 위나 모래 속에 몸을 파묻고 지낸다. 따라서 인공어초의 재질보다는 저질의 상태가 출현에 영향을 더 끼치는 것으로 보여지며 다른 종들에 비해 강제 어장에서 두드러지게 출현한 종이었다.

황놀래기*(Pseudolabrus sieboldi)*는 고수온기 암반에 시설된 강제 인공어초 어장에서 우점하였다. 황놀래기는 해조류가 많은 암초지대에 서식하는 대표적인 난류성 어종 중의 하나이다. 주로 낮에 인공어초나 해조류에 서식하는 부착생물이나 저서성 생물을 섭식하는 것으로 알려져 있으며, 밤에는 암초사이에 숨어서 잠을 잔다. 생태적 특성에 비추어 보면 고수온기에 해조류가 풍부한 암반지대에 시설된 인공어초에서 섭식을 활발하게 하는 종으로 보여진다.

대표 우점종들 중에서 조피볼락과 참돔은 '우럭'과 '도미'로 불리우는 경제적 가치가 큰 종들이다. 따라서 인공어초 시설시에 경제적 가치가 큰 종들의 위집을 고려한다면 사질의 저질에 콘크리트 인공어초를 시설하여 조피볼락과 참돔의 위집을 유도할 수 있을 것이다. 그리고 저수온기에는 조피볼락이, 그리고 고수온기에는 참돔이 주요 우점종이기 때문에 계절의 변화에도 탄력적으로 대응한다. 이는 어민들의 수익 증대를 위한 어업육성 전략의 하나로 제시할 수 있다. 그리고 생태계 건강성 측면에서 다양한 종을 위집하고자 할 때에는 다양한 재질의 인공어초를 시설하는 것이 좋은 전략이 될 것이다.

결과를 종합하면 인공어초 어장 서식환경에서 대조구에 비해 어류의 개체수와 다양성이 높게 나타났다. 그리고 사질에 시설된 콘크리트 인공어초는 고수온기에 종 풍부도와 종 다양성이 가장 높게 측정된다. 제주도 연안에 서식하는 어류들 중 조피볼락은 저수온기/콘크리트/사질, 두줄촉수와 육동가리돔은 저수온기/콘크리트/암반, 참돔은 고수온기/콘크리트/사질, 무늬홍어는 고수온기

/강제/사질, 황놀래기는 고수온기/강제/암반의 인공어초 어장 환경을 대표하는 종들이다. 따라서 수온과 저질상태 그리고 인공어초의 재질이 인공어초 어장에 서식하는 어류군집의 특성과 종류에 중요하다는 것을 알 수 있다.

Ⅵ. 결론

이 연구에서는 제주도 인공어초 어장 관리에 필요한 기초정보를 제공하기 위해 인공어초 어장에서 서식하는 어류군집에 끼치는 요인들을 알아보고 우점도 분석에 활용하였다.

기존의 인공어초 어장에 서식하는 어류들을 분석한 논문은 주로 인공어초 어장에서 어획된 어류에 대한 종수와 생체량을 통해 대조구와의 차이를 비교하였다. 그러나 인공어초 어장의 물리화학적 환경과 출현하는 종의 분포를 검증한 연구는 부족하다. 이 연구는 국내의 다른 인공어초 논문들과는 달리 인공어초가 시설된 환경을 유형별로 분류하여 어류군집에 끼치는지에 대한 분석을 했다. 그리고 어류군집에 영향을 끼치는 환경요인들을 기준으로 서식지 유형을 분류하고, 서식지 유형별 대표 어류종 선정을 위한 우점도 검증을 실시하였다.

연구 결과, 수온과 인공어초의 재질 그리고 인공어초가 시설된 저질의 상태가 어류군집의 종과 개체수에 영향을 끼쳤다. 그리고 수온이 높을 때 사질에 시설된 콘크리트 어장에서 어류 개체수와 다양성이 가장 높게 나타났다. 인공어초의 재질과 저질의 상태에 따라 출현하는 종의 차이가 있기 때문에, 종의 다양성 측면에서는 다양한 재질의 인공어초를 다양한 저질 환경에 시설해야 한다. 반면, 종 균등도의 측면에서는 인공어초의 시설과 조사된 어장환경이 어류군집에 끼치는 영향을 알 수 없었다. 때문에 보다 다양한 환경요인들에 대한 분석과 인공어초 시설에 대한 다양한 후속연구가 필요하다.

우점도 분석을 통해 인공어초 어장에서 서식지 특성에 따라 대표할 수 있는 종들은 조피볼락, 참돔, 두줄촉수, 육동가리돔, 무늬홍어, 황놀래기 이다. 이 종들과 서식 환경이 비슷한 어류들 역시 동일한 환경의 인공어초 어장에서 출현할 확률이 높을 것이다.

국내 인공어초 시설사업에서 적지조사를 위한 항목에서는 서식하는 종들에 대한 정보를 고려하고 있지는 못하다. 이 연구에서는 그동안 축적해온 인공어초 관리보고서의 자료들을 활용하여 인공어초 어장 환경별 서식하는 종을 관리할 수 있는 정보를 구축 가능하다. 특정 종의 증식을 위한 방안으로서는 치어 방류사업이 가장 주를 이루는데 만약, 다양한 종들이 선호하는 인공어초 서식환경에 대한 자료가 구축이 된다면 치어 방류사업의 연장선으로 인공어초

를 활용할 수 있다. 예를 들어, 치어들을 방류 후 가입(recruitment)전 유어들의 생장을 위한 서식지로 인공어초 어장 환경을 조성하여 관리할 수 있을 것이다.

연구의 한계들 중 무엇보다도 어획조사의 방법이 보다 정교해져야 함으로 사료된다. 인공어초 어장에 서식하는 어류를 확인하기 위한 방법은 자망과 통발을 이용한 어선채집이었다. 그러나 어획도구의 특성상 다양한 수심대에서 채집을 하기가 어렵다. 게다가 모래 속에 은신을 하고 있거나 그물코 크기 이하 크기의 어류들은 채집 가능성이 아주 낮다. 때문에 대안적인 조사방법들과 병행한 어류조사가 필요하다. 예를 들어, 수중에서도 빠르고 정확하게 동정이 가능한 전문가를 이용한 잠수 조사 방법이나 비디오 녹화 후 판독 기술 등을 대안으로 생각해 볼 수 있다(Stephen and Tony 1991).

종들 간 상호 영향은 생물의 서식을 결정하는 중요한 요소 중의 하나이다(Polis 1996). 인공어초 어장에 서식하는 어류들은 포식자와 피식자의 개체수, 먹이 생물의 존재 유무, 경쟁 종의 존재 유무 등에 따라 변화한다(Ambrose and Anderson 1990; Leitão et al. 2007). 인공어초에서 서식하는 무척추동물과 해조류가 어류군집에 끼치는 영향에 대한 국내 연구는 부족한 실정이다. 인공어초의 재질에 따라서 부착생물종이 달라질 수 있는데, 어류에 따라서 섭식하는 부착생물종들도 차이가 있기 때문에 인공어초 어장 생태계 내의 먹이그물에 대한 연구가 필요하다. 예를 들어, 인공어초의 부착생물 피도 변화에 따라 주변에 서식하는 어류군집의 변화를 상관성 분석으로 접근해 볼 수 있다.

이 연구는 우점도 분석을 이용하여 인공어초 어장 서식환경의 특징에 따른 대표 우점종을 분석했다. 우점도 분석은 광범위한 서식지를 특징적인 환경으로 구분하였을 때 그 환경들을 대표하는 종들을 분석 가능하게 해준다. 그리고 이를 통해 특정 종이 선호하는 서식환경을 이해하는 기반을 제공한다. 나아가 경제성이 높은 어류가 출현할 가능성이 높은 어장에 대한 자료를 구축한다면 어민들의 수익 향상도 기대해 볼 수 있다. 향후 우점도 분석을 이용한 인공어초 어장별 서식환경의 구분과 우점종 분포 자료를 연안 생태계 관리에 활용하여, 효율적인 인공어초 관리사업과 안정적인 어획전략 수립에 활용할 수 있을 것이다.

Ⅶ. 부록

Appendix 1 The coordinates of Artificial reefs

No.	Year	ID	Latitude	Longitude
1	2007	JJ-274-07	33° 29.992′	126° 24.675′
2	2007	JJ-274-16	33° 30.215′	126° 25.856′
3	2007	JJ-275-08	33° 30.561′	126° 26.711′
4	2007	JJ-281-01	33° 33.666′	126° 39.129′
5	2007	JJ-282-15	33° 33.552′	126° 40.858′
6	2007	JJ-287-10	33° 34.761′	126° 45.794′
7	2007	JJ-286-07	33° 33.989′	126° 42.892′
8	2007	JJ-286-10	33° 34.026′	126° 44.221′
9	2007	JJ-289-01	33° 34.734′	126° 47.674′
10	2007	JJ-291-11	33° 32.857′	126° 51.487′
11	2007	JJ-293-02	33° 32.612′	126° 52.256′
12	2007	JJ-294-11	33° 32.424′	126° 52.799′
13	2008	JJ-13-001	33° 21.662′	126° 52.847′
14	2008	JJ-04-001	33° 20.018′	126° 51.703′
15	2008	JJ-15-006	33° 21.438′	126° 52.581′
16	2008	JJ-267-2	33° 29.603′	126° 17.837′
17	2008	JJ-265-16	33° 27.184′	126° 17.100′
18	2008	JJ-265-13	33° 27.224′	126° 16.967′
19	2008	JJ-164-1	33° 13.764′	126° 26.399′
20	2008	JJ-178-5	33° 13.169′	126° 18.863′
21	2008	JJ-154-1	33° 13.571′	126° 23.374′
22	2008	JJ-282-2	33° 33.369′	126° 40.533′
23	2008	JJ-285-9	33° 34.209′	126° 41.315′
24	2008	JJ-288-4	33° 34.289′	126° 48.858′
25	2008	JJ-13-001	33° 21.662′	126° 52.847′
26	2008	JJ-04-001	33° 20.018′	126° 51.703′
27	2008	JJ-15-006	33° 21.438′	126° 52.581′
28	2008	JJ-267-2	33° 29.603′	126° 17.837′
29	2008	JJ-265-16	33° 27.184′	126° 17.100′
30	2008	JJ-265-13	33° 27.224′	126° 16.967′
31	2008	JJ-164-1	33° 13.764′	126° 26.399′
32	2008	JJ-178-5	33° 13.169′	126° 18.863′

Appendix 1 Continued

No.	Year	ID	Latitude	Longitude
33	2008	JJ-154-1	33° 13.571′	126° 23.374′
34	2008	JJ-282-2	33° 33.369′	126° 40.533′
35	2008	JJ-285-9	33° 34.209′	126° 41.315′
36	2008	JJ-288-4	33° 34.289′	126° 48.858′
37	2009	JJ-193-3	33° 12.782′	126° 28.454′
38	2009	JJ-55-1	33° 27.020′	126° 56.743′
39	2009	JJ-218-1	33° 30.448′	126° 24.831′
40	2009	JJ-207-4	33° 22.556′	126° 10.481′
41	2009	JJ-140-4	33° 12.966′	126° 29.529′
42	2009	JJ-48-2	33° 24.768′	126° 55.346′
43	2009	JJ-273-1	33° 30.167′	126° 24.028′
44	2009	JJ-240-5	33° 22.200′	1126° 10.822′
45	2010	JJ-303-10	33° 17.732′	126° 50.143′
46	2010	JJ-317-7	33° 17.481′	126° 50.178′
47	2010	JJ-317-22	33° 19.469′	126° 51.947′
48	2010	JJ-318-1	33° 16.938′	126° 45.869′
49	2010	JJ-307-6	33° 13.272′	126° 37.014′
50	2010	JJ-308-3	33° 12.784′	126° 24.438′
51	2010	JJ-320-1	33° 11.632′	126° 12.973′
52	2010	JJ-319-2	33° 11.600′	126° 14.535′
53	2010	JJ-310-1	33° 22.879′	126° 11.062′
54	2010	JJ-310-9	33° 23.407′	126° 11.207′
55	2010	JJ-310-4	33° 23.219′	126° 11.338′
56	2010	JJ-311-3	33° 27.495′	126° 15.535′
57	2010	JJ-321-18	33° 32.134′	126° 56.383′
58	2010	JJ-321-12	33° 31.582′	126° 55.974′
59	2010	JJ-321-6	33° 31.952′	126° 56.002′
60	2010	JJ-323-3	33° 54.608′	126° 17.644′
61	2010	JJ-317-7	33° 17.481′	126° 50.178′
62	2010	JJ-317-22	33° 19.469′	126° 51.947′
63	2010	JJ-303-10	33° 17.732′	126° 50.143′
64	2010	JJ-318-1	33° 16.938′	126° 45.869′
65	2010	JJ-307-6	33° 13.272′	126° 37.014′
66	2010	JJ-308-3	33° 12.784′	126° 24.438′
67	2010	JJ-310-1	33° 22.879′	126° 11.062′
68	2010	JJ-310-4	33° 23.219′	126° 11.338′
69	2010	JJ-310-9	33° 23.407′	126° 11.207′
70	2010	JJ-311-3	33° 27.495′	126° 15.535′
71	2010	JJ-321-12	33° 31.582′	126° 55.974′
72	2010	JJ-321-18	33° 32.134′	126° 56.383′
73	2010	JJ-321-6	33° 31.952′	126° 56.002′
74	2010	JJ-323-3	33° 54.608′	126° 17.644′
75	2011	JJ-340-4	33° 12.645′	126° 26.165′
76	2011	JJ-340-12	33° 12.712′	126° 26.064′

Appendix 1 Continued

No.	Year	ID	Latitude	Longitude
77	2011	JJ-328-2	33° 12.863′	126° 25.206′
78	2011	JJ-342-1	33° 11.788′	126° 19.417′
79	2011	JJ-327-4	33° 12.894′	126° 26.079′
80	2011	JJ-328-5	33° 12.793′	126° 25.360′
81	2011	JJ-343-1	33° 10.625′	126° 16.100′
82	2011	JJ-330-2	33° 25.643′	126° 14.251′
83	2011	JJ-344-12	33° 25.324′	126° 14.693′
84	2011	JJ-331-1	33° 29.795′	126° 19.826′
85	2011	JJ-344-10	33° 25.727′	126° 14.739′
86	2011	JJ-333-1	33° 30.455′	126° 24.039′
87	2011	JJ-333-4	33° 30.364′	126° 24.142′
88	2011	JJ-348-5	33° 29.335′	126° 58.235′
89	2011	JJ-347-6	33° 31.319′	126° 55.187′
90	2011	JJ-347-5	33° 31.601′	126° 55.397′
91	2011	JJ-334-8	33° 55.850′	126° 20.841′
92	2011	JJ-335-3	33° 57.703′	126° 23.073′
93	2011	JJ-340-12	33° 12.712′	126° 26.064′
94	2011	JJ-340-4	33° 12.645′	126° 26.165′
95	2011	JJ-327-4	33° 12.894′	126° 26.079′
96	2011	JJ-328-5	33° 12.793′	126° 25.360′
97	2011	JJ-342-1	33° 11.788′	126° 19.417′
98	2011	JJ-328-2	33° 12.863′	126° 25.206′
99	2011	JJ-343-1	33° 10.625′	126° 16.100′
100	2011	JJ-330-2	33° 25.643′	126° 14.251′
101	2011	JJ-331-1	33° 29.795′	126° 19.826′
102	2011	JJ-344-10	33° 25.149′	126° 14.568′
103	2011	JJ-344-12	33° 25.727′	126° 14.739′
104	2011	JJ-333-1	33° 30.455′	126° 24.039′
105	2011	JJ-333-4	33° 30.364′	126° 24.142′
106	2011	JJ-348-5	33° 29.335′	126° 58.235′
107	2011	JJ-347-6	33° 31.319′	126° 55.187′
108	2011	JJ-347-5	33° 31.601′	126° 55.397′
109	2011	JJ-334-8	33° 55.850′	126° 20.841′
110	2011	JJ-335-3	33° 57.703′	126° 23.073′

Appendix 2 The fish species recorded at artificial reefs and control plots in Jeju island (The data is compiled in descending order of counts, AR = Artificial reef, Ctrl = Control plot, R = Reef fish, B = Benthic fish, M = Migratory fish, * = Top 5 of counts in artificial reefs, ** = Top 5 of counts in control plots)

Korean name	*Scientific name*	Abbreviation	Counts				Habitat
			AR	%	Ctrl	%	
쏨뱅이	*Sebastiscus marmoratus*	SebMa	**269***	**13.63***	**92****	**9.10****	R
쥐치	*Stephanolepis cirrhifer*	SteCi	**189***	**9.57***	**96****	**9.50****	R
황놀래기	*Pseudolabrus sieboldi*	PseSi	**167***	**8.46***	**56****	**5.54****	R
붕장어	*Conger myriaster*	ConMy	**71***	**3.60***	17	1.68	B
청줄돔	*Chaetodontoplus septentrionalis*	ChaSe	**71***	**3.60***	39	3.86	R
호박돔	*Choerodon azurio*	ChoAz	69	3.50	**44****	**4.35****	R
무늬홍어	*Raja acutispina*	RajAc	65	3.29	43	4.25	B
벤자리	*Parapristipoma trilineatum*	ParTr	63	3.19	23	2.27	R
참돔	*Pagrus major*	PagMa	61	3.09	32	3.17	R
불볼락	*Sebastes thompsoni*	SebTh	55	2.79	-	-	R
말쥐치	*Thamnaconus modestus*	ThaMo	50	2.53	11	1.09	R
두툽상어	*Scyliorhinus torazame*	ScyTo	49	2.48	**96****	**9.50****	R
멸치	*Engraulis japonicus*	EngJa	45	2.28	6	0.59	M
범돔	*Microcanthus strigatus*	MicSt	42	2.13	14	1.38	R
주홍감펭	*Scorpaenodes littoralis*	ScoLi	42	2.13	18	1.78	R
달고기	*Zeus faber*	ZeuFa	40	2.03	20	1.98	R
노랑가오리	*Dasyatis akajei*	DasAk	30	1.52	13	1.29	B
여덟동가리	*Goniistius quadricornis*	GonQu	27	1.37	11	1.09	R
쭈굴감펭	*Scorpaena miostoma*	ScoMi	27	1.37	15	1.48	R
조피볼락	*Sebastes schlegeli*	SebSc	27	1.37	12	1.19	R
게르치	*Scombrops boops*	ScoBo	24	1.22	10	0.99	B

Appendix 2 Continued

Korean name	*Scientific name*	Abbreviation	Counts				Habitat
			AR	%	Ctrl	%	
어랭놀래기	*Pteragogus flagellifera*	PteFl	22	1.11	2	0.20	R
먹장어	*Epratrus burgeri*	EprBu	21	1.06	14	1.38	B
가시복	*Diodon holocanthus*	DioHo	19	0.96	12	1.19	R
놀락민태	*Lotella phycis*	LotPh	18	0.91	3	0.30	B
철갑둥어	*Monocentris japonica*	MonJa	17	0.86	8	0.79	R
능성어	*Epinephelus septemfasciatus*	EpiSe	16	0.81	3	0.30	R
거북복	*Ostracion cubicus*	OstCu	15	0.76	1	0.10	R
아홉동가리	*Goniistius zonatus*	GonZo	14	0.71	5	0.49	R
흑대기	*Paraplagusia japonica*	ParJa	14	0.71	25	2.47	B
전갱이	*Trachurus japonicus*	TraJa	13	0.66	10	0.99	M
얼룩통구멍	*Uranoscopus japonicus*	UraJa	12	0.61	14	1.38	B
두줄촉수	*Parupeneus spilurus*	ParSp	12	0.61	8	0.79	B
노래미	*Hexagrammos agammus*	HexAg	12	0.61	-	-	R
돌돔	*Oplegnathus fasciatus*	OplFa	11	0.56	-	-	R
흰가오리	*Urolophus aurantiacus*	UroAu	11	0.56	24	2.37	B
쏠배감펭	*Pterois lunulata*	PteLu	11	0.56	5	0.49	R
날매퉁이	*Saurida elongata*	SauEl	10	0.51	7	0.69	B
자리돔	*Chromis notatus*	ChoNo	10	0.51	10	0.99	R
볼락	*Sebastes inermis*	SebIn	10	0.51	3	0.30	R
쏠종개	*Plotosus lineatus*	PloLi	9	0.46	5	0.49	B
황매퉁이	*Trachinocephalus myops*	TraMy	8	0.41	9	0.89	B
고등어	*Scomber japonicus*	ScoJa	8	0.41	7	0.69	M
넙치	*Paralichthys olivaceus*	ParOl	8	0.41	11	1.09	B

Appendix 2 Continued

Korean name	*Scientific name*	Abbreviation	Counts				Habitat
			AR	%	Ctrl	%	
갈고등어	*Decapterus muroadsi*	DecMu	7	0.35	-	-	M
별복	*Arothron firmamentum*	AroFi	7	0.35	10	0.99	R
흰점복	*Takifugu poecilonotus*	TakPo	7	0.35	8	0.79	R
도다리	*Pleuronichthys cornutus*	PleCo	6	0.30	3	0.30	B
전기가오리	*Narke japonica*	NarJa	6	0.30	18	1.78	B
미역치	*Hypodytes rubripinnis*	HypRu	6	0.30	4	0.40	R
까지양태	*Cociella crocodila*	CocCr	6	0.30	10	0.99	B
놀래기	*Halichoeres tenuispinis*	HalTe	5	0.25	-	-	R
각시서대	*Pseudaesopia japonica*	PseJa	5	0.25	4	0.40	B
쥐노래미	*Hexagrammos otakii*	HexOt	5	0.25	2	0.20	R
양태	*Platycephalus indicus*	PlaIn	5	0.25	3	0.30	B
은붕장어	*Gnathophis nystromi*	GnaNy	4	0.20	2	0.20	B
육동가리돔	*Evistias acutirostris*	EviAc	4	0.20	-	-	R
세줄얼게비늘	*Apogon doederleini*	ApoDo	4	0.20	1	0.10	R
별넙치	*Pseudorhombus cinnamoneus*	PseCi	4	0.20	2	0.20	B
목탁가오리	*Platyrhina sinensis*	PlaSi	4	0.20	6	0.59	B
쑤기미	*Inimicus japonicus*	IniJa	4	0.20	3	0.30	R
악어양태	*Inegocia guttata*	IneGu	4	0.20	6	0.59	B
용치놀래기	*Halichoeres poecilopterus*	HalPo	3	0.15	3	0.30	R
방어	*Seriola uinqueradiata*	SerQu	3	0.15	1	0.10	M
잿방어	*Seriola dumerili*	SerDu	3	0.15	-	-	M
열쌍동가리	*Parapercis multifasciata*	ParMu	3	0.15	-	-	B
참조기	*Pseudosciaena polyactis*	PsePo	3	0.15	-	-	B

Appendix 2 Continued

Korean name	*Scientific name*	Abbreviation	Counts				Habitat
			AR	%	Ctrl	%	
금줄촉수	*Parupeneus ciliatus*	ParCi	3	0.15	1	0.10	B
세동가리돔	*Chaetodon modestus*	ChaMo	3	0.15	2	0.20	R
점넙치	*Pseudorhombus pentophthalmus*	PsePe	3	0.15	4	0.40	B
성대	*Chelidonichthys spinosus*	CheSp	3	0.15	9	0.89	B
청복	*Canthigaster rivulatus*	CanRi	3	0.15	-	-	R
졸복	*Takifugu pardalis*	TakPa	3	0.15	-	-	R
검붕장어	*Conger japonicus*	ConJa	2	0.10	-	-	B
꽃동멸	*Synodus variegatus*	SynVa	2	0.10	-	-	B
다금바리	*Niphon spinosus*	NipSp	2	0.10	1	0.10	R
흑돔	*Semicossyphus reticulatus*	SemRe	2	0.10	-	-	R
갈전갱이	*Kaiwarinus epuula*	KaiEp	2	0.10	2	0.20	M
주걱치	*Pempheris japonica*	PemJa	2	0.10	2	0.20	R
동갈양태	*Callionymus curvicornis*	CalCu	2	0.10	2	0.20	B
풀넙치	*Citharoides macrolepidotus*	CitMa	2	0.10	-	-	B
뿔서대	*Aesopia cornuta*	AesCo	2	0.10	-	-	B
고려홍어	*Raja koreana*	RajKo	2	0.10	1	0.10	B
쑥감펭	*Scorpaenopsis cirrhosa*	ScoCi	2	0.10	-	-	R
붉은쏨뱅이	*Sebastiscus tertius*	SebTe	2	0.10	1	0.10	R
가시망둑	*Pseudoblennius cottoides*	PseCo	2	0.10	-	-	B
돌팍망둑	*Pseudoblennius percoides*	PsePe	2	0.10	-	-	B
돌망둑이	*Pseudoblennius marmoratus*	PseMa	2	0.10	2	0.20	B
곰치	*Gymnothorax kidako*	GymKi	1	0.05	2	0.20	R
갯장어	*Muraenesox cinereus*	MurCi	1	0.05	-	-	B

Appendix 2 Continued

Korean name	*Scientific name*	Abbreviation	Counts				Habitat
			AR	%	Ctrl	%	
갈창갯장어	*Muraenesox bagio*	MurBa	1	0.05	-	-	B
매퉁이	*Saurida undosquamis*	SauUn	1	0.05	1	0.10	B
검은꼬리상어	*Carcharhinus sorrah*	CarSo	1	0.05	-	-	B
줄비늘치	*Caelorinchus multispinulosus*	CaeMu	1	0.05	-	-	B
해마	*Hippocampus coronatus*	HipCo	1	0.05	1	0.10	B
홍대치	*Fistularia commersonii*	FisCo	1	0.05	-	-	R
황아귀	*Lophius litulon*	LopLi	1	0.05	-	-	R
그물메기	*Neobythites sivicola*	NeoSi	1	0.05	-	-	B
붉바리	*Epinephelus akaara*	EpiAk	1	0.05	-	-	R
자바리	*Epinephelus bruneus*	EpiBr	1	0.05	1	0.10	R
닻줄바리	*Epinephlus poecilonotus*	EpiPo	1	0.05	-	-	R
붉벤자리	*Caprodon schlegelii*	CapSc	1	0.05	-	-	R
꽃돔	*Sacura margaritacea*	SacMa	1	0.05	-	-	R
노랑벤자리	*Callanthias japonicus*	CalJa	1	0.05	-	-	R
구갈돔	*Lethrinus haematopterus*	LetHa	1	0.05	1	0.10	R
점다랑어	*Euthynnus affinis*	EutAf	1	0.05	-	-	M
쌍동가리	*Parapercis sezfasciata*	ParSe	1	0.05	-	-	B
뿔돔	*Cookeolus japonicus*	CooJa	1	0.05	-	-	R
줄도화돔	*Apogon semilineatus*	ApoSe	1	0.05	1	0.10	R
보리멸	*Sillago sihama*	SilSi	1	0.05	3	0.30	B
옥돔	*Branchiostegus japonicus*	BraJa	1	0.05	-	-	R
갈치	*Trichiurus lepturus*	TriLe	1	0.05	-	-	M
샛돔	*Psenopsis anomala*	PseAn	1	0.05	-	-	M

Appendix 2 Continued

Korean name	*Scientific name*	Abbreviation	Counts				Habitat
			AR	%	Ctrl	%	
왜넙치	*Tarphops oligolepis*	TarOl	1	0.05	-	-	B
갈가자미	*Tanakius kitaharai*	TanKi	1	0.05	-	-	B
문치가자미	*Pleuronectesyo kohamae*	PleKo	1	0.05	-	-	B
살살치	*Scorpaena neglecta*	ScoNe	1	0.05	-	-	B
개볼락	*Sebastes pachycephalus*	SebPa	1	0.05	-	-	R
큰눈양태	*Suggrundus meerdervoortii*	SugMe	1	0.05	-	-	B
가시양태	*Hoplichthys langsdorfii*	HopLa	1	0.05	-	-	B
은밀복	*Lagocephalus wheeleri*	LagWh	1	0.05	-	-	R
민달고기	*Zenopsis nebulosa*	ZenNe	1	0.05	-	-	R
히메치	*Aulopus japonicus*	AulJa	-	-	1	0.10	B
주홍꽃동멸	*Synodus hoshinonis*	SynHo	-	-	2	0.20	B
아귀	*Lophiomus setigerus*	LopSe	-	-	1	0.10	R
옥두놀래기	*Xyrichtys dea*	XyrDe	-	-	4	0.40	B
보구치	*Argyosomus argentatus*	ArgAr	-	-	1	0.10	B
날돛양태	*Repomucenus beniteguri*	RepBe	-	-	3	0.30	B
노랑촉수	*Upeneus japonicus*	UpeJa	-	-	1	0.10	B
주황촉수	*Parupeneus chrysopleuron*	Parch	-	-	1	0.10	B
돌가자미	*Kareius bicoloratus*	KarBi	-	-	1	0.10	B
노랑각시서대	*Zebrias fasciatus*	ZebFa	-	-	1	0.10	B
점감펭	*Scorpaena onaria*	ScoOn	-	-	1	0.10	R
꽃감펭	*Hoplosebastes armatus*	HopAr	-	-	1	0.10	B
도화볼락	*Sebastes joyneri*	SebJo	-	-	10	0.99	R
우럭볼락	*Sebastes hubbsi*	SebHu	-	-	6	0.59	R

Appendix 3 The physical and chemical data of study area (Mat. = Material of artificial reef, Dep. = Depth, Bot. = Bottom, Temp. = Temperature, Conc = Concrete, AR = Artificial reef, Ctrl = Control plot, S = sand, R = rock, SR = sand+rock)

No.	Year	Month	Treat	Mat.	Dep. (m)	Dep. type	Bot. type	Temp.	psu	DO	pH
1	2007	March	AR	Conc	18	S	SR	13.30	34.72	8.57	8.20
2	2007	March	AR	Conc	24	S	S	13.51	35.74	8.79	8.35
3	2007	March	AR	Conc	29	M	S	13.98	35.14	8.51	8.41
4	2007	March	AR	Conc	23	S	SR	14.21	34.39	8.72	8.42
5	2007	March	AR	Conc	28	M	S	14.40	34.96	8.98	8.44
6	2007	March	AR	Conc	28	M	SR	14.10	35.08	8.52	8.38
7	2007	March	AR	Conc	29	M	S	14.16	34.53	9.07	8.45
8	2007	March	AR	Conc	28	M	S	14.16	35.23	8.98	8.42
9	2007	March	AR	Conc	23	S	SR	13.62	35.08	8.41	8.35
10	2007	March	AR	Conc	28	M	S	13.21	35.15	8.50	8.39
11	2007	March	AR	Conc	30	M	S	12.39	35.58	9.86	8.37
12	2007	March	AR	Conc	23	S	SR	13.17	35.25	8.41	8.38
13	2008	August	AR	Conc	33	M	S	24.80	32.06	7.52	8.15
14	2008	August	AR	Conc	20	S	S	24.80	32.06	7.52	8.15
15	2008	August	AR	Conc	27	M	S	24.80	32.06	7.52	8.15
16	2008	August	AR	Conc	35	M	S	24.70	32.14	6.87	8.15
17	2008	August	AR	Conc	30	M	S	24.70	32.14	6.87	8.15
18	2008	August	AR	Conc	25	M	S	24.70	32.14	6.87	8.15
19	2008	August	AR	Conc	17	S	SR	23.90	31.76	7.04	8.09
20	2008	August	AR	Conc	19	S	SR	23.90	31.76	7.04	8.09
21	2008	August	AR	Conc	25	M	SR	23.90	31.76	7.04	8.09
22	2008	August	AR	Conc	20	S	S	21.60	32.50	7.60	8.01
23	2008	August	AR	Conc	28	M	S	21.60	32.50	7.60	8.01
24	2008	August	AR	Conc	22	S	SR	21.60	32.50	7.60	8.01
25	2008	March	AR	Conc	33	M	S	15.80	33.91	9.72	8.21

Appendix 3 Continued

No.	Year	Month	Treat	Mat.	Dep. (m)	Dep. type	Bot. type	Temp.	psu	DO	pH
26	2008	March	AR	Conc	20	S	S	15.80	33.91	9.72	8.21
27	2008	March	AR	Conc	27	M	S	15.80	33.91	9.72	8.21
28	2008	March	AR	Conc	35	M	S	15.40	34.03	8.89	8.32
29	2008	March	AR	Conc	30	M	S	15.40	34.03	8.89	8.32
30	2008	March	AR	Conc	25	M	S	15.40	34.03	8.89	8.32
31	2008	March	AR	Conc	17	S	SR	15.60	34.08	8.64	8.29
32	2008	March	AR	Conc	19	S	SR	15.60	34.08	8.64	8.29
33	2008	March	AR	Conc	25	M	SR	15.60	34.08	8.64	8.29
34	2008	March	AR	Conc	20	S	S	14.70	34.15	8.84	8.31
35	2008	March	AR	Conc	28	M	S	14.70	34.15	8.84	8.31
36	2008	March	AR	Conc	22	S	SR	14.70	34.15	8.84	8.31
37	2009	October	AR	Steel	27	M	S	21.81	33.21	7.98	no data
38	2009	October	AR	Steel	26	M	S	22.07	33.85	7.08	8.42
39	2009	October	AR	Steel	40	D	SR	21.72	33.48	7.43	8.30
40	2009	October	AR	Steel	37	D	SR	22.67	33.22	7.19	8.14
41	2009	October	AR	Conc	35	M	S	22.15	33.52	7.58	no data
42	2009	October	AR	Conc	23	S	SR	20.64	34.27	7.76	8.30
43	2009	October	AR	Conc	37	D	S	21.96	33.87	6.79	8.29
44	2009	October	AR	Conc	31	M	S	21.84	33.63	6.62	8.30
45	2010	May	AR	Conc	32	M	R	16.86	34.52	8.17	8.19
46	2010	May	AR	Steel	34	M	SR	16.83	34.59	8.12	8.20
47	2010	May	AR	Conc	32	M	R	16.48	34.43	8.29	8.24
48	2010	May	AR	Conc	18	S	R	16.79	34.50	8.34	8.34
49	2010	May	AR	Steel	37	D	SR	17.23	34.49	7.99	8.31
50	2010	May	AR	Steel	36	D	SR	17.92	34.50	7.73	8.23
51	2010	May	AR	Conc	46	D	SR	17.59	34.61	8.15	8.24
52	2010	May	AR	Conc	37	D	SR	16.81	34.57	7.77	8.22
53	2010	May	AR	Steel	31	M	SR	15.87	33.63	7.74	7.55
54	2010	May	AR	Conc	35	M	SR	15.80	34.67	8.13	8.08
55	2010	May	AR	Steel	32	M	SR	15.82	33.49	7.70	7.48

Appendix 3 Continued

No.	Year	Month	Treat	Mat.	Dep. (m)	Dep. type	Bot. type	Temp.	psu	DO	pH
56	2010	May	AR	Steel	36	D	S	16.13	34.56	8.54	8.22
57	2010	May	AR	Conc	46	D	SR	18.98	33.63	7.67	8.20
58	2010	May	AR	Steel	33	M	S	18.62	34.60	7.61	8.23
59	2010	May	AR	Steel	39	D	S	19.03	34.63	7.70	8.23
60	2010	May	AR	Conc	37	D	SR	16.29	33.73	8.67	8.20
61	2010	September	AR	Steel	34	M	SR	21.60	34.98	8.13	8.89
62	2010	September	AR	Conc	32	M	R	20.00	35.05	8.46	8.83
63	2010	September	AR	Conc	32	M	R	21.06	34.74	8.48	8.87
64	2010	September	AR	Conc	18	S	R	20.20	35.19	8.42	8.91
65	2010	September	AR	Steel	37	D	SR	20.89	34.87	8.47	8.92
66	2010	September	AR	Steel	36	D	SR	20.44	35.33	8.54	8.86
67	2010	September	AR	Steel	31	M	SR	21.91	34.79	7.47	8.77
68	2010	September	AR	Steel	32	M	SR	22.40	34.71	7.49	8.75
69	2010	September	AR	Conc	35	M	SR	22.27	34.86	7.45	8.74
70	2010	September	AR	Steel	36	D	S	21.95	35.09	7.29	8.72
71	2010	September	AR	Steel	33	M	S	17.68	33.79	9.08	8.87
72	2010	September	AR	Conc	46	D	SR	17.62	34.23	8.89	8.88
73	2010	September	AR	Steel	39	D	S	17.69	33.79	9.10	8.82
74	2010	September	AR	Conc	37	D	SR	18.45	30.33	8.35	8.76
75	2011	July	AR	Steel	32	M	SR	23.48	34.12	8.59	7.54
76	2011	July	AR	Conc	31	M	R	24.40	33.17	8.23	7.52
77	2011	July	AR	Steel	32	M	R	22.98	34.30	8.59	7.55
78	2011	July	AR	Steel	29	M	R	23.37	34.02	7.71	7.23
79	2011	July	AR	Steel	30	M	SR	23.98	33.20	8.53	7.50
80	2011	July	AR	Steel	30	M	SR	23.02	33.20	8.72	7.85
81	2011	July	AR	Conc	25	M	SR	22.74	33.80	7.94	7.03
82	2011	July	AR	Conc	28	M	SR	20.50	34.17	8.59	7.56
83	2011	July	AR	Conc	25	M	SR	21.60	33.60	8.32	7.57
84	2011	July	AR	Steel	41	D	S	21.00	34.40	8.32	7.55
85	2011	July	AR	Steel	28	M	SR	20.90	34.54	7.81	7.46

Appendix 3 Continued

No.	Year	Month	Treat	Mat.	Dep. (m)	Dep. type	Bot. type	Temp.	psu	DO	pH
86	2011	July	AR	Steel	37	D	S	20.28	33.80	8.23	7.48
87	2011	July	AR	Conc	41	D	S	21.22	34.79	8.20	7.45
88	2011	July	AR	Conc	24	S	SR	21.26	33.87	8.44	7.21
89	2011	July	AR	Conc	23	S	S	20.34	34.78	8.43	7.46
90	2011	July	AR	Steel	30	M	S	21.09	34.30	8.74	7.48
91	2011	July	AR	Conc	23	S	S	17.10	34.01	8.66	7.48
92	2011	July	AR	Conc	23	S	S	18.53	34.16	8.59	7.55
93	2011	October	AR	Conc	35	M	R	22.80	35.20	8.40	7.81
94	2011	October	AR	Steel	41	D	SR	22.75	33.21	8.47	7.85
95	2011	October	AR	Steel	38	D	SR	22.59	35.09	8.52	7.82
96	2011	October	AR	Steel	34	M	SR	22.69	35.34	7.60	7.70
97	2011	October	AR	Steel	35	M	R	22.53	34.01	8.50	7.82
98	2011	October	AR	Steel	35	M	R	22.69	35.12	8.63	7.81
99	2011	October	AR	Conc	25	M	SR	22.55	34.58	8.57	7.85
100	2011	October	AR	Conc	28	M	SR	23.80	34.52	8.40	7.69
101	2011	October	AR	Steel	41	D	S	24.02	35.22	8.06	7.71
102	2011	October	AR	Steel	28	M	SR	23.87	35.09	8.16	7.72
103	2011	October	AR	Conc	25	M	SR	23.76	33.54	8.20	7.78
104	2011	October	AR	Steel	37	D	S	23.81	35.17	8.77	7.66
105	2011	October	AR	Conc	41	D	S	23.86	35.13	8.67	7.65
106	2011	October	AR	Conc	24	S	SR	23.23	34.82	8.82	7.73
107	2011	October	AR	Conc	23	S	S	23.28	34.90	8.66	7.69
108	2011	October	AR	Steel	30	M	S	22.87	34.85	8.56	7.59
109	2011	October	AR	Conc	23	S	S	18.66	33.70	8.20	7.63
110	2011	October	AR	Conc	23	S	S	16.84	33.92	8.29	7.50
111	2007	March	Ctrl	-	18	S	SR	13.30	34.72	8.57	8.20
112	2007	March	Ctrl	-	24	S	S	13.51	35.74	8.79	8.35
113	2007	March	Ctrl	-	29	M	S	13.98	35.14	8.51	8.41
114	2007	March	Ctrl	-	23	S	SR	14.21	34.39	8.72	8.42
115	2007	March	Ctrl	-	28	M	S	14.40	34.96	8.98	8.44

Appendix 3 Continued

No.	Year	Month	Treat	Mat.	Dep. (m)	Dep. type	Bot. type	Temp.	psu	DO	pH
116	2007	March	Ctrl	-	28	M	SR	14.10	35.08	8.52	8.38
117	2007	March	Ctrl	-	29	M	S	14.16	34.53	9.07	8.45
118	2007	March	Ctrl	-	28	M	S	14.16	35.23	8.98	8.42
119	2007	March	Ctrl	-	23	S	SR	13.62	35.08	8.41	8.35
120	2007	March	Ctrl	-	28	M	S	13.21	35.15	8.50	8.39
121	2007	March	Ctrl	-	30	M	S	12.39	35.58	9.86	8.37
122	2007	March	Ctrl	-	23	S	SR	13.17	35.25	8.41	8.38
123	2008	August	Ctrl	-	33	M	S	24.80	32.06	7.52	8.15
124	2008	August	Ctrl	-	20	S	S	24.80	32.06	7.52	8.15
125	2008	August	Ctrl	-	27	M	S	24.80	32.06	7.52	8.15
126	2008	August	Ctrl	-	35	M	S	24.70	32.14	6.87	8.15
127	2008	August	Ctrl	-	30	M	S	24.70	32.14	6.87	8.15
128	2008	August	Ctrl	-	25	M	S	24.70	32.14	6.87	8.15
129	2008	August	Ctrl	-	17	S	SR	23.90	31.76	7.04	8.09
130	2008	August	Ctrl	-	19	S	SR	23.90	31.76	7.04	8.09
131	2008	August	Ctrl	-	25	M	SR	23.90	31.76	7.04	8.09
132	2008	August	Ctrl	-	20	S	S	21.60	32.50	7.60	8.01
133	2008	August	Ctrl	-	28	M	S	21.60	32.50	7.60	8.01
134	2008	August	Ctrl	-	22	S	SR	21.60	32.50	7.60	8.01
135	2008	March	Ctrl	-	33	M	S	15.80	33.91	9.72	8.21
136	2008	March	Ctrl	-	20	S	S	15.80	33.91	9.72	8.21
137	2008	March	Ctrl	-	27	M	S	15.80	33.91	9.72	8.21
138	2008	March	Ctrl	-	35	M	S	15.40	34.03	8.89	8.32
139	2008	March	Ctrl	-	30	M	S	15.40	34.03	8.89	8.32
140	2008	March	Ctrl	-	25	M	S	15.40	34.03	8.89	8.32
141	2008	March	Ctrl	-	17	S	SR	15.60	34.08	8.64	8.29
142	2008	March	Ctrl	-	19	S	SR	15.60	34.08	8.64	8.29
143	2008	March	Ctrl	-	25	M	SR	15.60	34.08	8.64	8.29
144	2008	March	Ctrl	-	20	S	S	14.70	34.15	8.84	8.31
145	2008	March	Ctrl	-	28	M	S	14.70	34.15	8.84	8.31

Appendix 3 Continued

No.	Year	Month	Treat	Mat.	Dep. (m)	Dep. type	Bot. type	Temp.	psu	DO	pH
146	2008	March	Ctrl	-	22	S	SR	14.70	34.15	8.84	8.31
147	2009	October	Ctrl	-	27	M	S	21.81	33.21	7.98	no data
148	2009	October	Ctrl	-	26	M	S	22.07	33.85	7.08	8.42
149	2009	October	Ctrl	-	40	D	SR	21.72	33.48	7.43	8.30
150	2009	October	Ctrl	-	37	D	SR	22.67	33.22	7.19	8.14
151	2010	May	Ctrl	-	34	M	SR	16.83	34.59	8.12	8.20
152	2010	May	Ctrl	-	18	S	R	16.79	34.50	8.34	8.34
153	2010	May	Ctrl	-	37	D	SR	17.23	34.49	7.99	8.31
154	2010	May	Ctrl	-	36	D	SR	17.92	34.50	7.73	8.23
155	2010	May	Ctrl	-	46	D	SR	17.59	34.61	8.15	8.24
156	2010	May	Ctrl	-	31	M	SR	15.87	33.63	7.74	7.55
157	2010	May	Ctrl	-	36	D	S	16.13	34.56	8.54	8.22
158	2010	May	Ctrl	-	46	D	SR	18.98	33.63	7.67	8.20
159	2010	May	Ctrl	-	37	D	SR	16.29	33.73	8.67	8.20
160	2010	September	Ctrl	-	34	M	SR	21.60	34.98	8.13	8.89
161	2010	September	Ctrl	-	18	S	R	20.20	35.19	8.42	8.91
162	2010	September	Ctrl	-	37	D	SR	20.89	34.87	8.47	8.92
163	2010	September	Ctrl	-	36	D	SR	20.44	35.33	8.54	8.86
164	2010	September	Ctrl	-	31	M	SR	21.91	34.79	7.47	8.77
165	2010	September	Ctrl	-	36	D	S	21.95	35.09	7.29	8.72
166	2010	September	Ctrl	-	33	M	S	17.68	33.79	9.08	8.87
167	2010	September	Ctrl	-	37	D	SR	18.45	30.33	8.35	8.76
168	2011	July	Ctrl	-	32	M	SR	23.48	34.12	8.59	7.54
169	2011	July	Ctrl	-	32	M	R	22.98	34.30	8.59	7.55
170	2011	July	Ctrl	-	29	M	R	23.37	34.02	7.71	7.23
171	2011	July	Ctrl	-	30	M	SR	23.98	33.20	8.53	7.50
172	2011	July	Ctrl	-	25	M	SR	22.74	33.80	7.94	7.03
173	2011	July	Ctrl	-	28	M	SR	20.50	34.17	8.59	7.56
174	2011	July	Ctrl	-	41	D	S	21.00	34.40	8.32	7.55
175	2011	July	Ctrl	-	28	M	SR	20.90	34.54	7.81	7.46

Appendix 3 Continued

No.	Year	Month	Treat	Mat.	Dep. (m)	Dep. type	Bot. type	Temp.	psu	DO	pH
176	2011	July	Ctrl	-	37	D	S	20.28	33.80	8.23	7.48
177	2011	July	Ctrl	-	24	S	SR	21.26	33.87	8.44	7.21
178	2011	July	Ctrl	-	23	S	S	20.34	34.78	8.43	7.46
179	2011	July	Ctrl	-	23	S	S	17.10	34.01	8.66	7.48
180	2011	October	Ctrl	-	35	M	R	22.80	35.20	8.40	7.81
181	2011	October	Ctrl	-	41	D	SR	22.75	33.21	8.47	7.85
182	2011	October	Ctrl	-	34	M	SR	22.69	35.34	7.60	7.70
183	2011	October	Ctrl	-	35	M	R	22.53	34.01	8.50	7.82
184	2011	October	Ctrl	-	25	M	SR	22.55	34.58	8.57	7.85
185	2011	October	Ctrl	-	28	M	SR	23.80	34.52	8.40	7.69
186	2011	October	Ctrl	-	41	D	S	24.02	35.22	8.06	7.71
187	2011	October	Ctrl	-	25	M	SR	23.76	33.54	8.20	7.78
188	2011	October	Ctrl	-	37	D	S	23.81	35.17	8.77	7.66
189	2011	October	Ctrl	-	24	S	SR	23.23	34.82	8.82	7.73
190	2011	October	Ctrl	-	23	S	S	23.28	34.90	8.66	7.69
191	2011	October	Ctrl	-	23	S	S	18.66	33.70	8.20	7.63

Appendix 4 The Richness (*R*), Shannon diversity index (*H*), and Pielou Evenness (*J*) in study area (No. 1～110: Artificial reef, No. 111～191: Control plot)

No.	R	H	E	No.	R	H	E	No.	R	H	E	No.	R	H	E
1	1.61	4.00	1.00	**25**	2.08	4.71	0.94	**49**	1.39	3.00	1.00	**73**	3.18	6.34	0.79
2	2.77	6.45	0.92	**26**	2.77	5.36	0.77	**50**	2.30	7.72	0.96	**74**	2.64	4.10	0.68
3	2.30	9.00	1.00	**27**	1.61	4.00	1.00	**51**	2.30	5.35	0.89	**75**	3.18	6.78	0.68
4	2.48	7.19	0.90	**28**	2.08	4.71	0.94	**52**	1.39	3.00	1.00	**76**	3.58	4.04	0.51
5	1.79	1.96	0.98	**29**	2.89	3.72	0.74	**53**	2.08	5.74	0.96	**77**	2.64	6.59	0.82
6	2.83	4.52	0.75	**30**	3.78	1.50	0.38	**54**	1.10	2.00	1.00	**78**	3.04	4.06	0.68
7	2.83	3.40	0.85	**31**	1.79	3.79	0.95	**55**	1.79	2.59	0.86	**79**	3.40	4.02	0.67
8	2.56	10.69	0.97	**32**	3.04	9.49	0.79	**56**	2.08	4.71	0.94	**80**	2.56	6.17	0.88
9	2.48	4.55	0.91	**33**	2.08	4.37	0.87	**57**	3.26	4.72	0.59	**81**	2.71	2.69	0.67
10	1.95	3.78	0.94	**34**	2.71	4.65	0.77	**58**	2.48	4.48	0.90	**82**	2.94	4.28	0.71
11	1.95	4.76	0.95	**35**	1.79	5.00	1.00	**59**	2.30	6.24	0.89	**83**	2.20	3.36	0.84
12	2.08	7.00	1.00	**36**	2.30	3.71	0.93	**60**	2.89	3.95	0.79	**84**	3.22	9.63	0.80
13	3.30	7.57	0.76	**37**	3.47	10.15	0.73	**61**	2.08	3.59	0.90	**85**	2.64	9.07	0.91
14	3.04	7.01	0.78	**38**	2.20	6.73	0.96	**62**	2.08	5.74	0.96	**86**	2.94	6.03	0.75
15	2.89	7.64	0.85	**39**	3.53	11.18	0.80	**63**	2.56	6.17	0.88	**87**	3.14	8.13	0.81
16	3.50	10.66	0.76	**40**	3.56	8.92	0.69	**64**	2.48	7.54	0.94	**88**	4.48	11.05	0.58
17	3.43	5.78	0.64	**41**	3.43	7.86	0.79	**65**	1.79	5.00	1.00	**89**	3.87	5.24	0.52
18	2.40	5.17	0.86	**42**	3.33	9.19	0.66	**66**	2.89	7.91	0.88	**90**	3.81	3.96	0.44
19	2.77	2.94	0.73	**43**	2.89	9.80	0.89	**67**	2.30	5.35	0.89	**91**	3.91	7.23	0.66
20	3.26	9.44	0.86	**44**	2.64	6.86	0.86	**68**	1.79	3.79	0.95	**92**	3.14	4.27	0.71
21	3.37	7.49	0.75	**45**	2.20	4.46	0.89	**69**	3.30	7.93	0.72	**93**	2.20	4.46	0.89
22	2.71	7.17	0.90	**46**	2.08	5.74	0.96	**70**	2.40	7.58	0.95	**94**	2.08	3.59	0.90
23	3.40	9.49	0.68	**47**	2.40	5.17	0.86	**71**	3.14	7.30	0.73	**95**	2.20	5.66	0.94
24	2.89	6.32	0.79	**48**	2.30	7.72	0.96	**72**	3.33	9.19	0.84	**96**	2.08	3.59	0.90

Appendix 4 Continued

No.	R	H	E	No.	R	H	E	No.	R	H	E	No.	R	H	E
97	2.94	4.64	0.58	**121**	2.64	3.54	0.71	**145**	1.95	3.46	0.87	**169**	2.64	2.84	0.57
98	2.64	3.39	0.85	**122**	0.69	1.00	1.00	**146**	1.61	2.83	0.94	**170**	2.30	4.59	0.92
99	4.06	10.75	0.72	**123**	2.83	5.27	0.75	**147**	3.50	10.07	0.84	**171**	2.30	4.17	0.83
100	2.20	5.30	0.88	**124**	3.22	4.18	0.60	**148**	3.26	3.94	0.49	**172**	2.30	4.59	0.92
101	3.00	10.31	0.94	**125**	3.14	3.62	0.52	**149**	3.26	16.04	0.89	**173**	1.79	5.00	1.00
102	3.22	6.90	0.77	**126**	3.33	10.78	0.83	**150**	3.26	9.97	0.77	**174**	3.18	7.15	0.79
103	3.00	7.49	0.75	**127**	2.64	7.00	0.78	**151**	1.10	2.00	1.00	**175**	2.71	5.29	0.66
104	3.33	5.41	0.49	**128**	1.61	2.83	0.94	**152**	1.95	4.76	0.95	**176**	3.40	5.54	0.62
105	3.61	10.42	0.74	**129**	1.95	3.46	0.87	**153**	1.79	1.65	0.82	**177**	4.17	8.35	0.64
106	3.83	7.27	0.61	**130**	3.43	6.75	0.68	**154**	2.30	7.72	0.96	**178**	2.48	3.07	0.77
107	3.43	6.30	0.70	**131**	2.64	5.66	0.81	**155**	2.40	2.97	0.99	**179**	3.09	3.14	0.63
108	2.77	5.85	0.84	**132**	2.89	2.50	0.62	**156**	2.20	2.65	0.88	**180**	2.20	4.46	0.89
109	2.08	4.37	0.87	**133**	2.89	9.03	0.90	**157**	0.69	1.00	1.00	**181**	1.79	2.59	0.86
110	4.20	7.21	0.66	**134**	3.04	8.60	0.86	**158**	2.83	4.36	0.73	**182**	2.64	6.59	0.82
111	2.48	4.34	0.87	**135**	1.95	3.46	0.87	**159**	2.20	2.46	0.82	**183**	2.08	4.71	0.94
112	1.79	3.79	0.95	**136**	3.26	2.90	0.72	**160**	2.40	6.60	0.94	**184**	2.08	4.71	0.94
113	3.22	2.75	0.69	**137**	1.61	2.83	0.94	**161**	1.10	2.00	1.00	**185**	2.71	6.74	0.84
114	1.95	2.75	0.92	**138**	1.61	4.00	1.00	**162**	1.61	4.00	1.00	**186**	2.56	7.24	0.90
115	2.30	2.73	0.68	**139**	2.08	2.60	0.87	**163**	0.69	1.00	1.00	**187**	1.79	2.87	0.96
116	1.39	3.00	1.00	**140**	2.64	3.25	0.65	**164**	2.48	8.55	0.95	**188**	3.50	10.10	0.67
117	1.39	3.00	1.00	**141**	2.08	4.71	0.94	**165**	2.08	5.74	0.96	**189**	2.64	5.11	0.73
118	1.79	3.79	0.95	**142**	2.40	8.71	0.97	**166**	2.56	3.44	0.69	**190**	1.39	3.00	1.00
119	1.61	4.00	1.00	**143**	0.69	1.00	1.00	**167**	3.50	1.45	0.48	**191**	2.56	5.35	0.89
120	1.39	3.00	1.00	**144**	2.48	7.54	0.94	**168**	3.37	5.26	0.75				

Ⅷ. 참고문헌

고유봉, 신혜섭(1988), “제주도 북촌연안 水産資源유영생물의 出現과 먹이連鎖에 관한 연구”, 「한국수산학회지」, 21(3): 131-138

고유봉, 조성환(1997), “제주도 연안 해초지대 어류군집에 관한 연구”, 「한국어류학회지」, 9(1): 48-60

김만철, 김삼연, 이은실, 최미경, 양문호(2012), “제주해역에 분포하는 산호류의 출현 종수 및 우점종”, 「수산자원관리」, 2(1): 29-43

김상현, 노홍길(2004), “2000년 5월 제주도 주변해역의 해황 및 표층 저염분수의 출현”, 「한국수산학회지」, 40(6): 394-410

김인옥, 노홍길(1994), “제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구”, 「한국수산학회지」, 27(5): 515-528

김재우, 김하원, 허성회, 곽석남(2011), “제주 신양리 연안 인공어초 주변해역에서 서식하는 어류의 종조성 및 계절변동”, 「한국어업기술학회지」, 47(2): 118-127

노홍길, 토시유키 히라노(1983), “제주해협 동쪽 입구에 출현하는 설상의 난수”, 「한국수산학회지」, 16(4): 299-304

농림수산식품부(2013) 「인공어초시설사업집행 및 관리규정」, 농림수산식품부훈령 제356호, 2013.2.27

명정구(1997), “제주도 문섬 주변의 어류상”, 「한국어류학회지」, 9(1): 5-14

명정구(2009), 「우리바다 어류도감」, 예조원

미래양식연구센터(2010), 「2009년 제주도 인공어초 어장관리 조사보고서」, 제주: 국립수산과학원 미래양식연구센터

손태준, 박정식, 소두옥(1977), “魚礁의 形態와 魚群의 蝟集에 關한 硏究”, 「한국어업기술학회지」, 10(3): 179-187

수산자원사업단(2011), 「2010년 제주도 인공어초 어장관리 조사보고서」, 제주: 수산자원사업단 제주사업소

수산자원사업단(2011), 「인공어초시설통계(1971-2010)」, 농림수산식품부 수산자원사업단

안영화, 김준택(2000), “제주도 연안 인공어초 시설어장의 자원조성과 생산효과에 관한 연구”, 「해양자원연구소연구보고」, 24: 27-35

오택윤, 차형기, 장대수, 황철희, 남윤주, 곽석남, 손민호(2010), “제주바다목장 해역 내 인공 어초군에 서식하는 어류군집의 종조성 및 계절변동”, 「한국어업기술학

회지」, 46(2): 139-147

이도원(2001), 「경관생태학: 환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리」, 서울대학교 출판부

이승종, 고준철, 유준택, 임양재, 김병엽, 김주일(2009), "제주도 서부연안 어류군집의 종조성 및 계절변동", 「한국어류학회지」, 21(3): 167-176

이지현(2009), 인공어초에 서식하는 해양생물의 군집구조 분석, 순천향대학교 대학원 박사학위논문

정석근, 하승목, 나한나(2013), "기후변화에 따른 제주도 주변 해역 수산 어종 변화(1981-2010), 「한국수산과학회지」, 46(2): 186-194

제주수산연구소(2008), 「2007년 제주도 인공어초 어장관리 조사보고서(애월읍 동귀리 ~ 제주시 우도면 해역)」, 제주: 국립수산과학원 제주수산연구소

제주수산연구소(2009), 「2008년 제주도 인공어초 어장관리 조사보고서」, 제주: 국립수산과학원 제주수산연구소

최윤, 오정규, 라혜강(2003), "제주도 남부 해역의 어류상", 「한국어류학회지」, 15(2): 120-126

최윤, 박종영, 김지현(2002), 「한국의 바닷물고기 원색도감」, 교학사

Ambrose RF, Anderson TW (1990) Influence of an artificial reef on the surrounding infaunal communitiy. *Mar Biol* 107: 41-52

Allen GR, Steene R, Humann P, DeLoach N (2003) *Reef fish identification: Tropical pacific. New World Publications*, Jacksonville

Berggren A, Carlson A, Kindvall O (2001) The effect of landscape composition on colonization success, growth rate and dispersal in introduced bush-crickets *Metrioptera roeseli*. *J Anim Ecol* 70(4): 663-670

Bohnsack JA, Sutherland DL (1985) Artificial reef research: A review with recommendations for future priorities. *B Mar Sci* 37(1): 11-39

Bunn AG, Urban DL, Keitt TH (2000) Landscape connectivity: A conservation application of graph theory. *J Environ Manage* 59: 265-278

Carlisle JG, Turner CH, Ebert EE (1964) *Artificial habitat in the marine environment (Eds.)*. Department of Fish and Game, California

Clark S, Edwards AJ (1999) An evaluation of artificial reef structures as tools for marine habitat rehabilitation in the Maldives. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst* 9:

5-21

Fujita T, Kitagawa D, Okuyama Y, Jin Y, Ishito Y, Inada T (1996) Comparison of fish assemblages among an artificial reef, a natural reef and a sandy-mud bottom site on the shelf off Iwate, northern Japan. *Environ Biol Fish* 46: 351-364

Goodwin BJ (2003) Is landscape connectivity a dependent or independent variable?. *Lands Ecol* 18: 687-699

Goudie A (2006) *The human impact on the natural environment : past, present, and future*. Malden, MA : Blackwell

Gray JS (1997) Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. *Biodivers Conserv* 6: 153-175

Hackradt CW, Félix-Hackradt FC, García-Charton JA (2011) Influence of habitat structure on fish assemblage of an artificial reef in southern Brazil. *Mar Environ Res* 72: 235-247

Hosack GR, Dumbauld BR, Ruesink JL, Armstrong DA (2006) Habitat Associations of Estuarine Species: Comparison of Intertidal Mudflat, Seagrass (*Zostera marina*), and Oyster (*Crassostrea gigas*), Habitats. *Estuaries Coasts* 29(6B): 1150-1160

Jackson JBC, Kirby MX, Berger WH, Bjorndal KA, Botsford LW, Bourque BJ, Bradbury RH, Cooke R, Erlandson J, Estes JA, Terence PH, Kidwell S, Lange CB, Lenihan HS, Pandolfi JM, Peterson CH, Steneck RS, Tegner M, Warner RR (2001) Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosysytems. *Science* 293: 629-638

Kimura MR, Munehara H (2010) The disruption of habitat isolation among three *Hexagrammos* species by artificial habitat alterations that create mosaic-habitat. *Ecol Res* 25: 41-50

Kruskal WH, Wallis WA (1952) Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J Amer Statist Assoc* 47(260): 583-621

Leitão F, Santos MN, Erzini K, Monteiro CC (2008) The effect of predation on artificial reef juvenile damersal fish species. *Mar Biol* 153: 1233-1244

Levin SA (2009) *The Princeton Guide to Ecology.* Princeton University Press

Lie HJ, Choi CH, Lee JH, Lee S, Tang Y (2000) Seasonal variation of the Cheju Warm Current in the northern East China Sea. *J Oceanogr* 56: 197-211

Lundin CG, Lindén O (1993) Coastal Ecosystems: Attempts to Manage a Threatened Resource. *Ambio* 22(7): 468-473

Mann HB, Whitney DR (1947) On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *Ann Math Stat* 18(1): 50-60

Mumby PJ (2006) Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: Algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. *Biol Conserv* 128: 215-222

Nakamura M (1985) Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan. *B Mar Sci* 37(1): 271-278

National Research Council (1988) *Fisheries Technologies for Developing Countries.* National Academies Press, Washington, D.C.

Nelson JS (2006) *Fishes of the world : 4th edition.* Wiley

Nybakken JW (1993) *Marine biology : An ecological approach.* NY : HarperCollins College Publishers

Ormond RFG, Gage JD, Angel MV (1999) *Marine Biodiversity : Patterns and Processes(Eds.).* Cambridge University Press, Cambridge

Pang IC, Rho HK, Kim TH (1992) Seasonal variations of water mass distribution and their causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the adjacent seas of Cheju Island. *Bull Kor Fish Soc* 25: 151-163

Perkol-Finkel S, Shashar N, Benayahu Y (2006) Can artificial reefs mimic natural reef communities? The roles of structural features and age. *Mar Environ Res* 61: 121-135

Polis GA (1996) Food web complexity and community dynamics. *Am Nat* 147(5) 813-846

Pickering H, Whitmarsh D, Jensen A (1999) Artificial Reefs as a Tool to Aid Rehabilitation of Coastal Ecosystems: Investigating the Potential. *Mar Pollut Bull* 37(8-12): 505-514

Rilov G, Benayahu Y (2000) Fish assemblage on natural versus vertical artificial reefs: the rehabilitation perspective. *Mar Biol* 136: 931-942

Sale PF (1977) Maintenance of High Diversity in Coral Reef Fish Communities. *Am Nat* 111(978): 337-359

Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3-4): 591-611

Seaman W (2000) *Artificial reef evaluation : with application to natural marine habitats(Ed.).* CRC Press LLC

Spalding MD, Grenfell AM (1997) New estimates of global and regional coral reef areas.

Coral reefs 16:225-230

Steneck RS, Graham MH, Bourque BJ, Corbett D, Erlandson JM, Estes JA, Tegner MJ (2002) Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environ Conserv* 29(4): 436-459

Stephen AB, Tony M (1991) Visual census of reef fish assemblages: A comparison of slate, audio, and video recording devices, *Northeast Gulf Sci* 1:17-23

Stephens JS, Morris PA, Pondella DJ, Koonce TA, Jordan GA (1994) Overview of the dynamics of an urban artificial reef fish assemblage at king harbor, California, USA, 1974-1991: A recruitment driven system. *B Mar Sci* 55(2-3): 1224-1239

한국수산자원관리공단, 인공어초의 정의, http://www.fira.or.kr/fira/040401.jsp, 2013

한국수산자원관리공단, 인공어초의 분류, http://www.fira.or.kr/fira/040402.jsp, 2013

국립수산과학원, 수산생명자원정보센터, http://portal.nfrdi.re.kr/frcenter/oceanlife/, 2014

Abstract

Effects of Artificial Reefs and Environmental Variables on Fish Assemblages:

a case of Jeju island in Korea

Junsung Noh
Department of Environmental Planning
The Graduate School of Environmental Studies
Seoul National University

A biodiversity which is an index on the evaluation of ecological health for marine ecosystem tends to be higher in coastal area compared to open ocean. However, the biodiversities of coastal areas are degrading by human disturbances to coastal ecosystems, including habitat loss, climate change, overfishing, pollution, exploitation, tourism, as well as waste dumpings. In particular, increased habitat loss is of great concern due to its severe adverse effects on marine ecosystems. For the reason, artificial reefs have been suggested as alternatives for the restoration of marine habitats. Although effects of artificial reefs in terms of enhancement for the marine fisheries resources have been studied for a long time, current understanding of the specific interactions between artificial reefs and environmental variables seems to be somewhat limited. Therefore, the present study aimed 1) to analyze environmental variables which have effects on fish assemblages of artificial reefs, and 2) to select fish species which are indicators of various habitats of the artificial reefs.

Data collections have been made on March 2007, March and August 2008,

October 2009, May and September 2010, July and October 2011. Total of 110 artificial reefs and 81 control plots have been investigated along the coasts of Jeju island, Korea. Fish assemblages as well as environmental parameters have been investigated and measured respectively, and their relationship has been statistically analyzed. There was significant correlation between fish assemblages and certain environmental variables viz. temperature, material of artificial reef, and bottom types. Artificial reefs were also classified according to the three variables. Finally, the indicator species of each habitat type has been designated based on the indicator value analysis (IndVal).

This study successfully addressed the effect of environmental variables on fish assemblages of artificial reefs. While previous studies have largely focused on quantitative method for the selection of representative species, the systematic and IndVal has been conducted in the present study which appeared to be efficient for the selection of proper type of artificial reefs in the study area. This may provide better opportunity and analytical tool for the implementation of sustainable conservation of marine ecosystem.

Keywords : artificial reef; fish assemblage; marine ecosystem; biodiversity; indicator species; environmental variables

Student Number : 2012 - 22037

감사의 글

무엇보다도 먼저, 항상 저를 격려해주시고 든든한 버팀목이 되어주시는 부모님께 아들의 무한한 사랑을 전합니다. 원범 노병휘, 윤민정. 나의 부모님. 사랑합니다.

아낌없는 지도로 항상 바른길을 제시해주신 이도원 교수님께 존경과 감사를 전합니다. 지도해주신 올바른 공부를 위한 자세, 마음깊이 새기며 살겠습니다.

논문을 진행할 수 있도록 발판을 마련해주신 강영철 선배님, 석사연구를 위해 아낌없는 자료제공에 도움을 주셨던 최용석 선배님께 후배의 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 그리고 제주도 인공어초 관리사업 보고서를 만들기 위해 애쓰신 제주 수산자원사업단의 연구원님들께도 고마움을 전합니다. 연구원님들의 한걸음 한걸음이 한국 해양발전과 후배 연구자들을 위한 밑거름이 되었습니다.

논문 발전에 아낌없는 조언을 해주신 심사위원님들께도 감사드립니다. 세심하고 꼼꼼한 조언으로 저를 연마해주신 이동수 교수님, 재치 있는 생각들을 공유해 주시고 표현의 세련미를 지도해주신 김종성 교수님께 감사드립니다. 앞으로 더 열심히 정진하겠습니다. 그리고 논문 구성과 영문 초록 작성에 도움을 주신 권봉오 박사님, 박진순 박사님께도 감사드립니다.

그리고 저에게 멋있는 선배이자 멘토인 강완모 형과 이상헌 형에게 감사드립니다. 완모 형과 상헌 형의 도움으로 공부의 재미와 방향을 알고 또, 도전할 수 있었습니다. 날카로운 조언과 전문성으로 저를 이끌어주셨던 이응경 선배님과 육근형 선배님께도 감사드립니다. 그리고 항상 성찰하는 자세와 학문적 완성도로 저에게 모범이 되는 배소연 누나와 김고운 양 감사드립니다. 소연 누나, 고운 양, 많이 배우고 감탄하였습니다.

항상 웃는 얼굴로 실험실에 활력을 불어 넣어준 개구쟁이 이경민 양, 푸근한 미소로 함께 해주었던 김진아 누나, 입학 동기로서 함께 즐거움과 고민을 나눴던 남미리 누나, 발랄함과 즐거움을 나눠준 조유리에게 깊은 감사를 드립니다. 마지막 학기에 함께 고민하고 의지가 되었던 이지선 양, 홍정현 양에게도 감사를 드립니다. 끝으로 서글서글한 곤충 매니아 이민주 군의 미소에도 푸근한 마음을 보냅니다. 여러분 모두들 덕에 즐거운 석사생활을 할 수 있었습니다.

어느덧 석사과정이 끝나갑니다. 에코랩, 환경대학원 수업들, 서울대 북경대 몽골대 워크샵, GIS, 그래프 이론, 민물고기 연구, 통계 공부, 연구실 제주 스쿠버여행, 샌디에고 어학연수, 인공어초 논문 작성, 심천 방문, 해양학과와의 인연 등 많은 일들이 스쳐 지나갑니다. 이제 다음 학기부터는 석사논문의 부심이셨던 김종성 교수님의 해양학과 저서생태학연구실에서 박사과정을 시작합니다. 조금은 새로운, 그리고 동경했었던 분야에서 즐겁게 연구하겠습니다. 더불어 맡은 자리에서 성실하고 전문성 있는 연구자가 되도록 정진하겠습니다. 항상 웃고 즐기고 더불어 살겠습니다.

"사랑합니다, 고맙습니다!"