

## 인공어초의 최적 배치모델 구축에 관한 연구

손병규 · 정성재<sup>1\*</sup>

한국수산자원관리공단 동해생명자원센터, <sup>1</sup>국립수산과학원 수산공학과

### A study on the optimal placement model building of artificial reef

Byung-Kyu SOHN and Seong-Jae JEONG<sup>1\*</sup>

East Sea Life Resources Center, Korea Fisheries Resources Agency (FIRA), Uljin 36340, Korea

<sup>1</sup>Fisheries Engineering Division, National Institute of Fisheries Sciences, Busan 46083, Korea

In this study, we propose a method of optimal placement technique of artificial reef considering characteristics of sea areas and provide basic data for efficient budget execution. In addition, we will contribute to increasing the economic efficiency by improving the fisheries productivity by suggesting the scientific basis for the policy data and the increase of the catch through the resource creation based on the ecological information about the biology. Especially, in order to establish the effective disposition (optimum separation distance) of artificial reef considering characteristics of biological and engineering factors, it is necessary to review the artificial reef installation management regulations and investigate the biological effects of artificial reef facilities, is needed. Through this, it is expected that the ground data of the direction of the policy promotion will be derived by suggesting the placement condition of the artificial reef complex which can maximize the resource composition effect according to the target fish species.

Keywords : Biological factor, Wake region, Fisheries productivity, Artificial reef, Optimal Placement

#### 서론

우리나라는 1970년대부터 연안역에 인위적인 수산동식물의 서식공간을 조성하고 해역별 특성에 알맞은 수산생물을 방류하여 수산자원량을 증대시키고 있다. 어장환경의 변화와 글로벌 기후변화의 영향으로 변화하는 해양환경에 대응하고 수산자원 조성방안을 강구하여 지속가능한 어업의 영위를 위한 수산자원 조성사업의 중요성이 날로 증대되고 있다. 수산자원 조성사업의 중요한 수단이자 자원증강의 매개체인 인공어초에 대한 사후관리는 전국의 인공어초 어장의 설치위치와 서식생물 분포상태를 조사한다. 더불어 기능성 평가를 통해 인공

어초 어장조성 효과를 체계적으로 분석하고 있다. 인공어초의 설치수심이 외해역으로 확대되면서 각 생물종에 가장 좋은 서식환경을 제공하는 기능성 어초에 대한 설치도 크게 증가하고 있다.

최근 들어 환경변화에 따른 연안역의 갯녹음 발생, 태풍과 같은 자연재해 뿐만 아니라 사람에게 의한 자원의 해양오염, 남획 등으로 인한 연안생태계 훼손이 증가하고 있다. 또한 자원조성을 위해 설치된 인공어초의 효과에 대한 과학적인 분석을 통한 상세한 평가 자료가 요구되고 있다. 바다목장 및 바다숲 조성사업에 있어서 인공어초 시설의 배치설계에서 경제성이 담보되는 합리적이

\*Corresponding author: bimbmes@hanmail.net, Tel: +82-51-720-2591, Fax: +82-51-720-2586

며 과학적인 자원조성 근거의 정립이 시급하며, 인공어초 배치기술에 대한 기준 도출이 정책수행을 위한 중요한 과제로 떠올랐다.

본 연구에서는 해역별 특성을 고려한 자원조성 시설물(인공어초)의 최적 배치기술에 주목하여 배치방법을 제안하고, 이를 통해 효율적 예산집행을 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 더불어 생물에 대한 생태학적 정보 기반의 자원조성을 통한 어획량 증대와 정책자료 제공에 필요한 과학적 근거를 제시하여 수산자원 조성사업 정책 발전을 도모하고 어장생산성 향상에 따른 경제성 증대에 기여하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 해역특성을 고려한 인공어초 배치

바다목장사업은 어장환경과 수산생물을 효율적으로 제어·관리하여 어장의 생산력을 높이는 시스템을 구축하는 것이다. 초기단계에서는 기초기술 개발을 위해 시범적으로 바다목장을 조성하였고 관련된 제반기술을 개발한 이후에는 바다목장사업을 전국적으로 확대하였다. 시범바다목장인 태안, 전남, 제주의 바다목장 해역 및 울진 석산의 어류행동 조사결과를 바탕으로 배치모델 개발을 위한 검토를 수행하였다. 시범바다목장 해역은 당초 어장과 자원의 조성뿐만 아니라 잡는 어업까지 고려한 어초어장 조성의 개념이었다. 이곳의 인공어초 배치는 물리·화학적 조건으로 유동환경, 수질, 해저지형, 저질과 같은 요소를 전반적으로 고려하기보다 어업인의 사회·경제적 조건을 우선적으로 고려하여 시설되었다. 시설의 특징으로는 조류방향을 고려한 분산배치와 수심을 고려한 높고 낮은 인공어초 배치이다. 인공어초의 형상에 따른 이격거리는 후류역(또는 후류길이)을 고려하여 시설하는 것이 바람직하다는 사실을 확인할 수 있다. 또한 인공어초 주변의 생물량 조사결과에 따르면 플랑크톤 개체수 기준에 따른 인공어초의 영향범위는 인공어초 중심으로부터 인공어초 높이(폭)의 약 3배인 것으로 나타났다. 특히 인공어초의 집어(위집) 효과를 일으키는 중요한 요인은 영양염류와 1차 생산자(플랑크톤)의 체류에 의한 것으로 조사되었다(NFRDI, 1999~2007, FIRA, 2012, 2014, 2015).

일본의 인공어초 시설사례로 인공어초 배치 개념에 중점을 둔 위집효과는 인공어초 배후에 형성되는 후류

역(wake region) 또는 후류길이(wake length)에 의해 결정되며, 인공어초의 크기와 배치간격은 저서성과 회유성 어종에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 인공어초의 배치에 있어서 가능한 흐름방향에 횡단하여 어초 시설을 설치하는 것이 적합한 것으로 조사되었다. 인공어초 간격은 대상해역의 생물상에 따라 판단하되, 약 2~20 m 이내로 하는 것이 적합하다. 인공어초 간격은 후류역의 확대와 인공어초 상호간의 간섭효과를 고려하여 어초 높이의 약 2~4배가 최적배치 조건이었다(Japan National Coastal Fisheries Promotion Development Association, 1985. Masayuki Miyauchi, Satoshi Akimoto, 2001).

인공어초 배치모델과 관련하여 다양한 방법이 제시되었으며, 우선 배치모델에 대한 주요 연구현황을 살펴보기로 한다. 부경대학교 산학협력단에서는 어초의 제작에서 설치단계까지 과학적 방법을 적용한 해석과 실험을 통해 배치모델을 제시하였다. 이 배치모델에서는 인공어초의 구조해석을 통해 기본적으로 구조적 안정성을 확인하고 유체역학적 시뮬레이션을 수행한 결과를 토대로 모형시험을 통해 인공어초의 후류역을 파악하여 어초의 물리적 영향범위를 결정하였다. 인공어초 설치 해역의 특성파악을 위해 먹이생물과 어류분포 조사를 수행한 후 동해, 서해, 제주 해역의 특성과 인공어초로 인한 물리적 영향범위에 따른 적정 배치모델 개발기술을 체계화시켰다(PKNU, 2013).

인공어초의 안정성은 어초에 작용하는 유체력 중에서 투영면적, 무게중심의 높이, 항력계수에 따라 좌우되므로 항력계산과 평가가 중요하며, 유체력 산정에 사용되 Morison 식은 해상에 설치되는 중력식 구조물의 항력계산에 많이 사용하고 있다. 또한 해역의 환경특성에 따라 차이가 있지만, 일본에서는 인공어초 주변의 어획량 증대를 위해 많은 면적을 차지하는 인공어초의 배치 방법보다는 적당한 이격거리를 고려하여 설치함으로써 인공어초의 효과를 극대화하고 경제적 효과를 거둘 수 있다고 보고되었다. 잡는 어업에 있어서도 인공어초 시설에 따른 직접적인 효과를 포함한 부수적인 경제적인 효과 달성을 위한 배치방안을 강구해야 한다(Matsumi Yoshiharu, 1988, Masayuki Miyauchi and Satoshi Akimoto, 2001).

현재 추진되고 있는 수산자원 조성사업 효과조사 결

과에 따르면, 자원조성 시설이 존재하는 지역의 어획량은 시설이 없는 지역보다 1~3배 높은 것으로 나타났다. 장기적인 효과에 대한 확인을 위해서는 인공어초 설치 후의 위집과 집어효과에 대하여 지속적인 모니터링과 평가가 이루어져야 한다 (FIRA, 2015).

### 생태 생물학적 영향요소

자원조성이라는 인공어초 고유의 목적을 달성하기 위해서는 생물학적 영향인자와 해양물리학적 영향인자를 고려하여 주요 유용생물 종에 대한 생태적 특성과 생물학적 영향인자를 설계요소화시켜 분석해야 한다. 어초 설계에 반영되는 중요한 인자는 서식수심, 저질의 선택성, 선호하는 서식지의 형태, 섭식형태, 산란형태와 산란장과 같은 생물학적 특성이다. 또한 어초에 반응하는 형태 (어초성)에 알맞은 어초의 형상과 같은 생태학적인 요소를 동시에 고려해야 한다 (UNEP, 2009).

어초는 어도가 형성되는 수심대에 설치되어야 하므로 대상종의 서식수심을 파악하여 설계요소화 시켜야 한다. 어초로 인한 경제적 가치가 높은 생물군 중 돛류의 서식수심을 살펴보면, 감성돔 (*Acanthopagrus schlegeli*)의 경우 5~50 m이고, 참돔 (*Pagrus major*)은 이보다 깊은 30~150 m이다. 돌돔 (*Oplegnathus fasciatus*)과 뽕에돔 (*Girella punctata*)은 가장 낮은 수심인 5~30 m에서 서식한다. 볼락류에서 조피볼락 (*Sebastes hubbsi*)과 볼락 (*Sebastes thompsoni*)은 각각 10~50 m의 수심과 90~150 m의 수심대에서 서식하는 것으로 알려져 있다. 쏨뱅이 (*Sebastes marmoratus*)는 조피볼락과 비슷한 수심대를 가지고 있지만 좀 더 깊은 곳까지 서식영역을 넓혀 최대 80 m 수심까지 서식한다. 유용 생물종의 하나인 문치가자미 (*Limanda yokohamae* (Gunther))는 10~100 m의 수심에서 서식한다.

저질의 특성은 어초를 시설할 때 안정성이라는 측면 외에도 생물의 분포에도 크게 영향을 미치고 있다. 유용 생물 종들이 주로 서식하는 저질의 특성은 어초의 배치를 위한 적지선정 시 사전에 고려되어야 할 중요한 설계요소이다. 감성돔의 경우 바닥이 해조류가 있는 모래질 또는 암초지대의 연안에 있는 서식지를 선호한다. 참돔은 연안의 암초지대와 패각이 혼합된 사질대에서, 돌돔은 해조류가 풍부한 연안의 암초지대나 용암굴에서 주로 서식한다. 뽕에돔의 경우 연안 가까운 약간 깊은 암초

사이와 자갈지대의 해조류가 무성한 곳이나 자연암석이 만든 굴이나 좁은 틈을 선호하는 것으로 알려져 있다. 볼락류는 일반적으로 암초지대를 선호하며 바위의 틈과 암반사이의 통로를 선호하여 이동하는 특성이 있다. 가자미류는 펄이나 모래와 하구의 기수역에 서식하며 바닥에 붙어서 서식하는 특징을 가지고 있다.

대상종이 그 수역에서 이용하고 있는 먹이생물의 종과 조성 및 먹이 생물의 분포상태 등을 조사하여 어초설치로 인하여 먹이생물의 발생과 위집이 촉진될 수 있도록 해야 한다. 어초의 설계 및 시설된 어초 배치를 위해 돌돔의 먹이생물을 예로 들면 성게, 소라, 따개비, 전복 등의 부착생물을 섭식하는 것으로 알려져 있으며, 이들을 어초 설계에 반영해야 한다. 특히 가자미류는 갯지렁이, 새우류, 게류, 이매패류 등을 섭식하므로 이것에 알맞은 인공어초를 설계단계에서 검토할 필요가 있다.

자원조성 및 자원량 증대효과를 충분히 거두기 위해서는 시설되는 어초가 산란장의 기능을 수행해야 한다. 이를 위해서는 생물종의 산란형태 및 산란장에 대한 정보도 설계인자화 시켜야 한다. 돛류의 경우 일반적으로 분리부성난의 산란형태를 가지며, 4~7월에 산란성기를 맞고 암초지대와 해저지형이 복잡한 곳에 산란장이 있다. 볼락류인 쏨뱅이와 가자미류인 문치가자미, 돌가자미는 11~3월에 산란하는 것으로 알려져 있다.

### 해양 물리학적 영향요소

현재 활용되고 있는 어초어장 조성기술 중에서 해양 물리학적 영향인자를 주로 반영하는 요소인 어초군 배치와 관련된 어초간의 이격거리 및 수량 등의 영향요소에 대한 고려가 미흡하다. 지금까지 시설된 어초들은 동일 어초로 군체를 형성하는 경우가 많으며, 이를 보완하기 위해서는 높낮이를 고려한 어초의 조합에 대한 배치개념을 도입하는 것이 바람직하다. 즉 해류 (흐름)의 영향에 따른 어초군의 이격거리와 수량에 대한 영향을 반영시킬 수 있는 설계인자의 도입을 통한 시설방안이 필요하다. Fig. 1에 어초의 기능저하를 극복하기 위하여 어류의 이동경로에 따른 어초의 설치모형을 나타내었다. Fig. 1은 어초의 분산설치로 인하여 어류의 이동경로에서 벗어난 어초의 양을 증가시키고 어군의 이동경로에 따르도록 위치를 옮기면 기능저하를 극복하고 보다 효율적인 어초로서의 역할을 수행할 수 있다는 것을 보

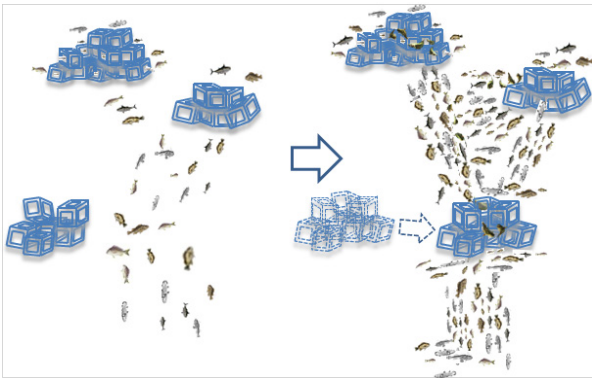


Fig. 1. Reef placement model according to fish migration.

여준다.

인공어초의 기능이 저하되고 있는 경우에는 시설현장 조사를 통해 그 이유를 밝히고 비용 대비 효과를 고려하여 필요한 대책을 강구해야 한다. 어초기능 저하의 중요한 원인으로서는 자연발생적이며 환경적인 이유로 인한 파손과 매몰 및 적재된 어초의 흩어짐이다. 그물이나 낚시 도구 등의 어구가 인공어초에 걸리고 방치되는 현상으로 인한 인공적인 효과저하도 있다. 또한 어떠한 요인으로 어초 어장의 조류(흐름)가 변화한 경우에도 인공어초의 위집효과가 떨어진다.

인공어초는 깊은 수심에 설치되어 있어 보수 및 복원이 어려운 경우가 많지만, 그물의 제거나 인공어초의 증설을 통한 기능회복은 Fig. 1에 나타난 것처럼 기술적으로는 가능하다. 따라서 시설현황 조사를 토대로 한 어초기능회복을 위한 실태파악과 비용대비 효과를 검토하여 적절하게 개선할 필요가 있다.

어초의 집어원리는 후류역의 영향과 인공어초 부재에 부착, 서식하고 있는 부착생물이 인공어초에 서식하고 있는 어류의 중요한 먹이생물 공급처의 역할을 하기 때문이다. 따라서 인공어초의 후류역을 규명하여 용승효과와 어초 주변의 생물체 분포와 습성에 따른 서식장 조성, 유동특성에 따른 수리학적 특성을 접목하는 최적 배치기술이 요구된다.

### 결과 및 고찰

#### 주요 인자가 미치는 영향

배치설계의 주요 인자로 작용하는 영향요소인 어종의 생태, 후류 영역 및 흐름의 영향에 따라 인공어초 배치모델을 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 어초의 배치간격은

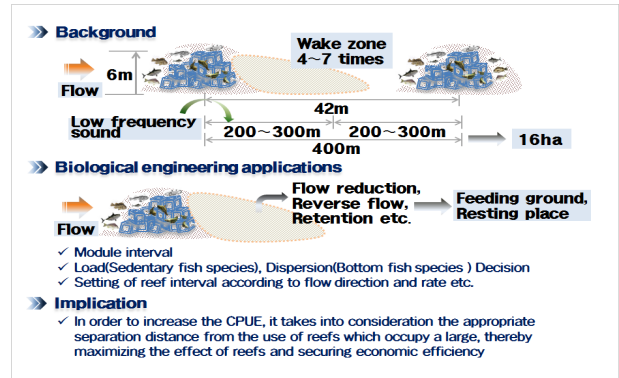


Fig. 2. Placement model configuration of artificial reef.

대상해역에서의 생물학적 판단과 어초 높이에 근거하여 후류영역 또는 후류 길이로 결정할 수 있으며, 흐름의 영향에 의한 먹이장과 휴식장을 구성하는 배치개념을 정립할 수 있다. 어초의 높이가 6 m라고 가정하면 어초 배후면의 후류영역은 4~7배로 조류(흐름)에 의한 유속의 정체, 와류 및 역방향의 흐름 생성으로 유기물과 수산생물의 유생 등 어류의 먹이생물이 다양하게 존재할 수 있는 공간이 형성되며, 그 공간은 최대 42 m의 후류역(후류길이)으로 형성되어 수산생물의 먹이장, 휴식장을 제공할 수 있다. 어초가 설치된 실험역에서 약 200~300 m 정도 떨어진 지점에서의 어획조사 결과, 자망에 의해 다양한 어종이 어획되었으며, 이는 인공어초 효과 가운데 저주파음(어초의 형상 또는 어초의 부재에서 발생하는 와류 등에 의해 발생하는 음파)에 의한 영향영역이라고도 할 수 있다. 이미 언급한 바와 같이 어초어장 1단지를 조성하는 데 있어서 어초의 효과를 고려하여 1단지의 한 변을 최대 400 m로 한다면 이는 16 ha의 면적을 가지는 어초어장을 조성할 수 있다는 것이다. 어종의 생태를 고려한 어초의 배치는 정착성이나 저서성 어종에 따라 어초효과를 극대화시키는 방향과 경제성을 고려하여 배치하여야 한다. 정착성 어종에 대해서는 어초를 상적하는 방식으로, 저서성 어종에 대해서는 분산하여 투하하는 방식이 바람직하다. 또한 어초의 형상 또는 어초 부재에서 발생하는 와류와 난류 등에 의해서 생성된 음파인 저주파음을 저주파 발생과 확산영역을 고려하여 적극적으로 활용할 필요가 있다. 이처럼 주요 인자인 어종의 생태, 후류영역 및 흐름과 같은 영향요소가 인공어초의 배치모델의 구성과 어초의 효과를 나타내는 척도가 되

는 결정적인 요인이다.

시범 바다목장 해역의 경우, 조류방향에 대해 어초의 높이를 고려하여 일정간격으로 이격시킨 형태로 배치하였으며, 연안지형 조건을 반영하여 수심별로 어초 높이가 다른 형태를 고려하였다. 이와 같이 인공어초 어장조성에 있어서 단위어초의 배치 방식에 대한 일정한 조건은 없으나, 본 연구에서는 어초배치 기본모델 개발을 위해서 전술한 바와 같이 Fig. 3~4에 나타낸 것처럼 조류방향을 고려한 분산배치와 수심을 고려한 인공어초의 높낮이에 따른 배치방법을 적용하였다. 수심을 고려한 인공어초의 배치는 Fig. 4에서 확인할 수 있는 것처럼 높낮이가 다른 어초는 조류의 유속으로 인해 발생하는 유동장이 어초와 만났을 때 가능한 넓은 후류영역을 가질 수 있도록 배치한다. 즉 낮은 어초를 전방에 설치하여 유입되는 유속저하를 최소화하고, 높이가 가장 높은 어초의 후류역을 극대화시키는 것이다. 또한 중간 높이의 어초를 배후에 배치하는 것으로 발생된 후류역이 보다 많은 와류를 일으키도록 유도하여 자연스럽게 후류영역이 확장되도록 하였다. 또한 어초의 형상에 따른 어초간의 이격거리는 이러한 조류에 의한 유속으로 발생하는 후류역의 영향을 반영하여 시설되는 것이 바람직한 것

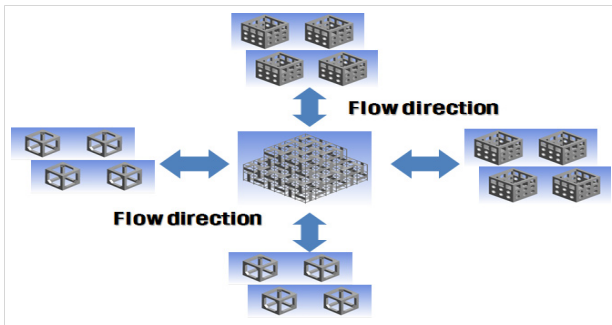


Fig. 3. Reef placement considering flow direction.

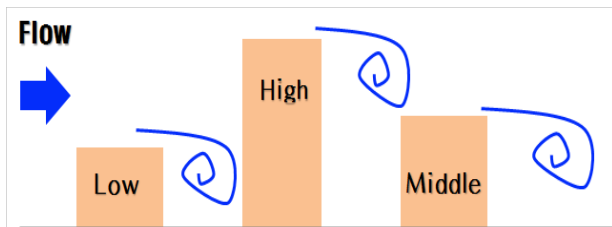


Fig. 4. Placement considering height and low of reef by flow direction.

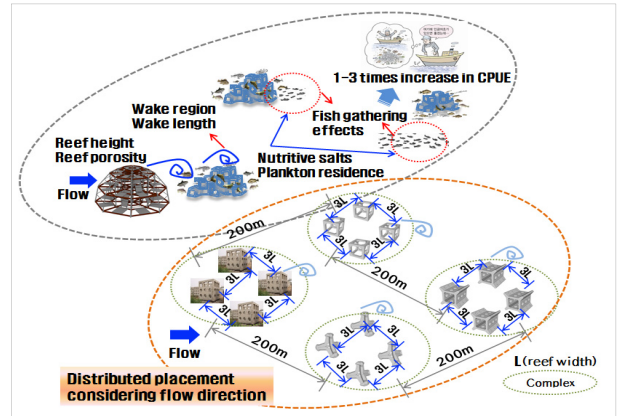


Fig. 5. Effective placement of artificial reefs according to sea characteristics.

으로 판단된다.

어초효과를 극대화시키고 과학적인 객관성을 확보하기 위해서는 해역특성을 고려한 어초 선정 시 과학적, 기술적, 경제학적인 전문가 그룹에 의한 판단에 근거한 어초선정이 요구된다. 배치에 있어서 생물학적 특성을 우선적으로 고려하여 Fig. 5와 같은 방향으로 배치하면 수산자원 조성효과가 높을 것으로 판단된다. 즉 어초의 집어원인은 영양염류와 플랑크톤과 같은 1차 생산자가 체류하기 때문에, 이들을 주로 섭이하는 어류가 모여드는 위집효과로 그 배후에 형성되는 후류역의 중요도가 결정된다. 특히 어초의 영향범위는 플랑크톤 개체수를 바탕으로 어초 중심으로부터 어초폭 (높이)의 약 3배 영역이다. 어류가 어초에 반응하는 형태 또는 어초와의 위치관계를 나타내는 ‘어초성’ 분류에 따라 생물위집 효과를 파악할 수 있다. 따라서 구조물 용적만을 어류를 위한 유효공간으로 볼 수 없으며, 주변부에 생물서식을 위한 유효공간을 확보해야 한다.

#### 최적 어초 배치모델 구축

시설대상 어초를 선정할 경우 해역별 특성 영향인자, 어초별 특성인자, 어초별 투과율, 음영, 후류역 정량화 등 세부항목을 추가해야 한다. 또한 해양물리학적 영향인자에 따른 배치모형을 구축하되 주요 설계요소의 반영이 필요하다. 구체적으로는 후류역, 음파, 유속의 영향인자 설계요소로 반영하고, 유향에 따른 후류역 변동성에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 한다. 영향인자

설계 요소화를 통한 어초 높이별, 배치간격에 대한 상관관계를 도출하고, 개별어초의 투과율, 음영, 투영면적, 부재간격, 부재치수, 부재배치 등 어초별 특성인자를 파악할 수 있는 매뉴얼 작성이 필요하다.

어초형상과 조류방향에 따른 분산배치, 수심을 고려한 어초상적 방식의 배치를 고려하되 어초 효율성 극대화를 위한 해역 특성별 과학적 어초 배치시스템을 구축해야 한다. 생물학적 영향인자를 이용한 최적 인공어초 배치는 어초의 영향범위로 어초 높이의 3배로 하되 후류역의 탁월한 집어효과를 활용한 구조물 주변부에서 생물서식을 위한 유효공간을 확보해야 한다.

이러한 전제조건을 충족시키기 위한 자원조성 시설물의 단계별 배치 방법은 Fig. 6과 같이 3단계로 구분하여 추진되어야 할 것으로 판단된다. 인공어초의 영향인자 설계 요소 가운데, 공학적 특성 인자 분석과 생물학적 특성인자 분석을 통하여 1단계인 공학 및 생태적 특성, 2단계인 음향학적 특성과 3단계인 사회·경제성 분석의 단계로 수산자원 조성 시설물 배치하는 것이 바람직하다. 이를 통해 최적 어초 배치모델 구축이 가능하다. 또한 최적 어초 배치모델의 구상과 인공어초 배치에 필요한 과학적, 객관적 기초자료를 배치모델에 적용하고 시설방법을 정립함으로써 장기적으로 인공어초를 활용하는 어업인들의 소득증대에 기여할 수 있다.

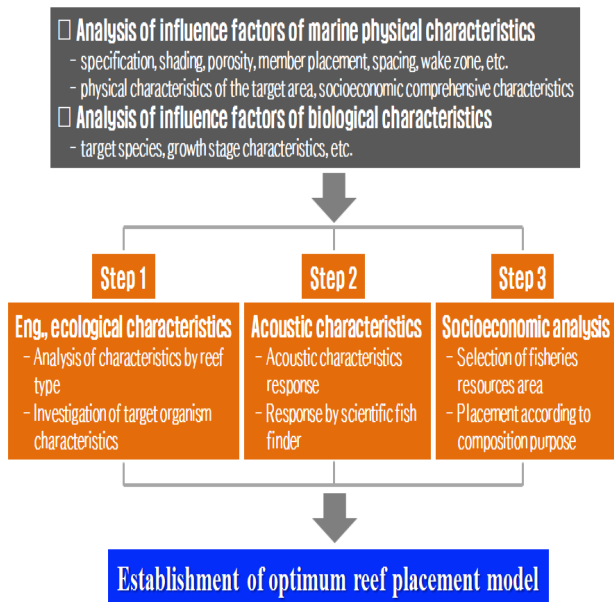


Fig. 6. Optimal construction method of reef placement model.

### 흐름해석을 위한 시뮬레이션

어초어장 조성해역의 자원조성 효과를 정량화하기 위하여 Fig. 6의 1단계인 공학 및 생태적 특성 분석은 사각형어초 단체로 한정하여 흐름해석을 수행하였으며, 집어효과가 탁월한 것으로 알려져 있는 (Pickering and Whitmarsh, 1997) 인공어초의 후류역을 정의한 연구 (Sawaragi, 1995) 및 후류역 평가를 위한 후류체적 개념 (Kim et al., 2014)을 도입하여 공학적·생물학적인 측면에서 자원조성 효과를 극대화하고자 하였다.

본 연구에서는 후류영역을 정량화하기 위해서 후류체적 (wake volume)을 계산하였으며 (Kim et al., 2014), 인공어초의 구조적 형상에 따라 후류역의 분포가 달라지며, 후류길이로 후류역을 정량화하는 것은 곤란하다. 이에 따라 인공어초의 공극율 및 후류역에 대한 상관관계와 흐름 해석을 위하여 전산유체역학 해석을 수행하였다. 사용된 소프트웨어는 ANSYS CFX (ANSYS-Inc., 2009)이며, 요소기반 유한체적법, 유동공간, 경계조건 및 격자선정(Jung et al., 2016)을 도입하여 수행하였다.

흐름해석에 사용된 수치기법에 사용된 유체는 비압축성 (incompressible), 점성유동 (viscous flow)이며, 전단응력과 전단변형률의 관계가 선형적인 뉴턴유체 (newtonian fluid)를 정상상태 (steady flow) 유동으로 가정하여 계산을 수행하였다. 시뮬레이션 대상어초는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 사각형어초를 모델링하고 격자로 표현하여 시뮬레이션 대상으로 이용하였다.

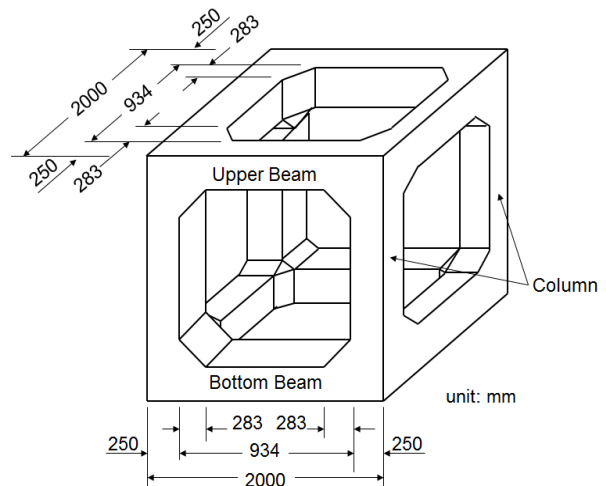


Fig. 7. Specifications of cube-type reef.

흐름해석 시뮬레이션 결과

인공어초의 공극률과 후류역의 상관관계를 파악하고자 사각형어초의 공극률에 따른 후류평면의 평균유속을 측정하였으며, Fig. 8에 어초 내부와 배후의 기준평면을 나타내었다. Fig. 9에는 기준평면에서 공극률 55%의 후류역을 나타내었다. Table 1은 공극율에 따른 각 기준평면에서 후류평면의 평균유속 값을 나타낸 것이며, 각 기준평면 (내부, 배후)에서 평균유속은 설계유속 (2 m/sec) 대비, 20% 미만 (18%, 19%) 값을 가지며, 공극율이 30%일 때 어초 내부와 배후의 평균유속이 각각 최대 값이다.

Fig. 10에 시뮬레이션으로 얻어진 사각형어초에서 측정된 후류체적의 변동을 나타내었다. Fig. 10에 나타난 것처럼 공극률이 0일 때 최대 후류체적 (23.44 m<sup>3</sup>)을 보였고, 공극률이 커질수록 후류체적이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 인공어초 내부에서는 공극률이 55%일 때 후류체적은 0.28로 최소가 되는 것으로 나타났다. 배후에서는 공극률이 극단적으로 커지는 70%일 때 후류체적이 0.29로 나타나 유속으로 인하여 어초의 배후에 와류에 기인한 유동장이 크지 않다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 관계를 3차 다항식을 이용한 추세선으로 확인하였을 때의 상관성 (R<sup>2</sup>)은 0.97이다.

Table 1. Average flow velocity in the wake plane with porosity (parentheses are percentages relative to inlet flow rate 2 m/s)

Porosity (%)	Mean flow velocity in the wake plane (m/sec)	
	Reef interior	Reef rear
0	N/A	0.45 (22.5%)
10	0.32 (16.0%)	0.39 (19.5%)
20	0.38 (19.0%)	0.45 (22.5%)
30	0.41 (20.5%) - Max	0.47 (23.5%) - Max
40	0.36 (18.0%)	0.41 (20.5%)
50	0.37 (17.5%)	0.36 (18.0%)
55	0.28 (14.0%) - Min	0.31 (15.5%)
60	0.40 (20.0%)	0.36 (18.0%)
70	0.37 (18.5%)	0.29 (14.5%) - Min
80	0.33 (16.5%)	0.33 (16.5%)
Average	0.36 (18.0%)	0.38 (19.0%)

직선 보간에 의한 추세선으로 확인한 상관성 (R<sup>2</sup>)은 0.89로 나타났으며, 공극률 변동에 따른 후류체적 변동이 민감하게 반응하는지를 판단할 수 있다. 인공어초 시설 전후의 효과는 조류와 흐름에 의해 인공어초 배후에 후류역이 형성되고 영양염류와 플랑크톤이 체류하는 확장영역이 어초어장 효과조사의 기준이 될 수 있다.

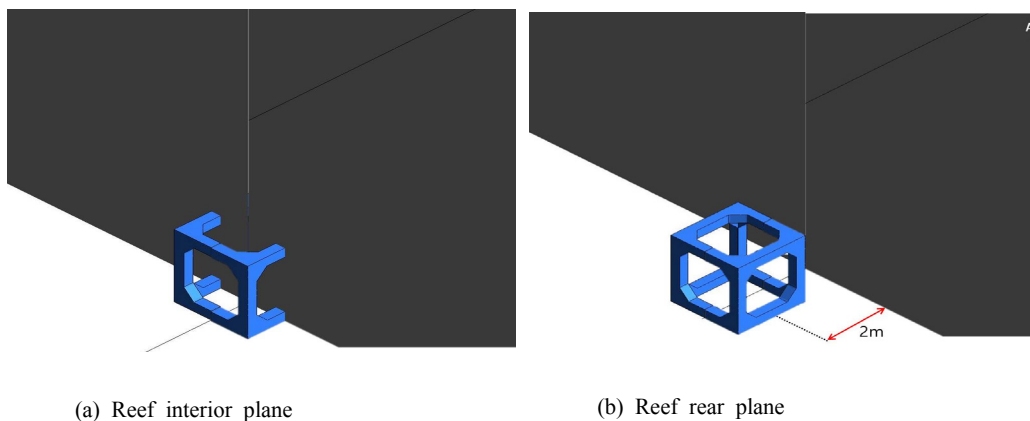


Fig. 8. Reference plane for wake region measurement (cube-type reef 2×2×2 m).

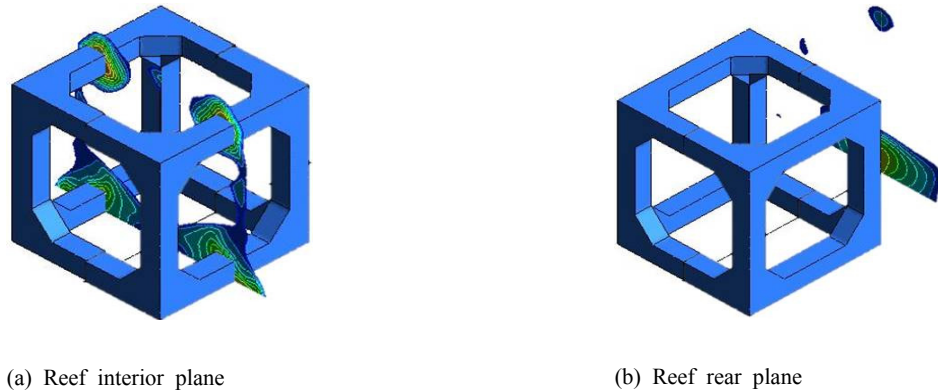


Fig. 9. Wake plane in the reference plane (55% porosity).

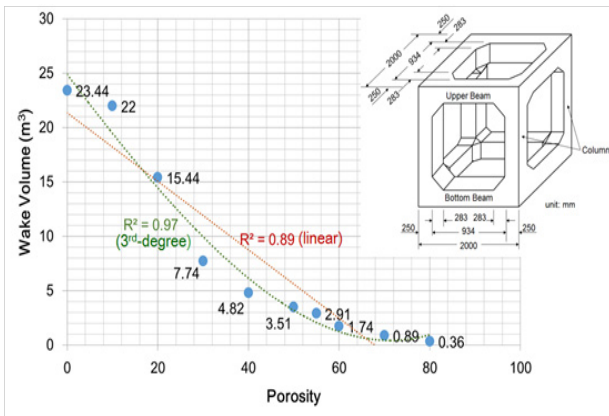


Fig. 10. Effect of wake volume variation by porosity (cube-type reef 2×2×2 m).

### 결론

본 논문에서는 인공어초의 최적 배치모델 구축을 위한 방안에 대한 기본개념과 요인들을 제시하였다. 배치모델 구축을 위한 요소의 중요한 기초자료는 해양물리학적 특성인자와 생물학적 특성인자로 구분하였다. 해양물리학적 특성인자를 배치모델에 접목하기 위해서는 어초의 제원, 음영, 투과율, 부재배치와 간격 및 후류역을 고려해야 한다. 더불어 대상 해역의 물리적인 특성과 사회경제적인 특성까지도 반영하여야 한다. 생물학적 특성인자는 대상 생물종과 성장단계별 특성이 배치모델의 중요한 인자로 포함된다.

단계적으로 구축되는 배치모델 구축은, 1단계로 어초형별 특성분석 및 대상생물의 특성조사를 포함한 공학적, 생태적 특성을 반영해야 한다. 2단계로는 음향학적

특성을 접목하는 단계로 인공어초로 인하여 발생할 수 있는 음향학적 특성을 고려하고 과학어탐에 의한 반응까지 인자로 고려해야 한다. 3단계로는 사회, 경제적인 분석으로 자원조성 대상해역의 선정과 조성목적에 따른 배치를 모델에 적용시키는 단계이다. 이러한 단계를 거쳐 완성되는 인공어초의 최적 배치모델은 기존의 인공어초 배치방법이 반영하지 못하는 다양한 인자에 대한 고려를 가능하게 만들 뿐 아니라 최적의 배치모델의 구성을 통해 자원조성과 어업 생산량 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

향후 불확정적 미래 해양공간에 예측가능한 생태기반의 자원조성을 위한 구조물의 설계 및 배치는 현재의 과학기술로는 해양물리, 생물학, 경제경영학, 수산학 등 많은 한계점에 노출되어 있지만, 그 효과에 대한 결과를 평가한 후 최선의 대안을 선택하면 된다. 따라서 자원조성 해역에 시설된 인공어초를 대상으로 해양생물학적 특성을 고려한 모델 제시를 위해서는 인공어초의 형태별 후류역에 따른 해양생물량 등을 정량화하여 해양물리학적·생물학적 영향인자를 함께 고려한 최적화된 인공어초 배치모델 결과가 도출되어야 할 것으로 판단된다.

특히 생물학 및 공학적 요소 특성을 고려한 인공어초의 효과적 배치 (최적 이격거리) 기술 정립을 위해서는 인공어초 시설관리 규정 검토, 자원조성 해역 시설 어초 대상 생물학적 효과조사, 시설 어초대상 공학적 요소 특성 평가와 같은 3단계의 과정을 수행할 필요가 있다. 이를 통해 대상어종에 따른 자원조성 효과를 극대화할 수 있는 인공어초군 배치조건 제시를 통하여 정책적 추진방향 수립의 근거자료의 도출이 기대된다.



## 사 사

이 논문은 2017년도 국립수산과학원 수산과학연구소(R2017041)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다. 이 논문의 집필에는 한국수산자원관리공단 강영실 이사장님, 황진욱 경영기획본부장님, 김호상 사업본부장님, 김희진 선임연구원님과 국립수산과학원 김민수 연구원님께 많은 도움을 받았으며, 수고에 대한 고마운 마음을 전합니다.

## References

- ANSYS-Inc. 2009. ANSYS CFX, Release 12.1. ANSYS Inc., Canonsburg, PA, USA.
- Japan National Coastal Fisheries Promotion Development Association. 1985. Coastal fishing ground improvement development project Structural design guidelines (in Japanese).
- Kim DH, Woo JH, Na WB and Yoon HS. 2014. Flow and Structural Response Characteristics of Box-type Artificial Reef, *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* 26(3), 113-119 (in Korean).
- Korea Fisheries Resources Agency. 2012. Demonstration Marine Ranch(East Sea, West Sea, Jeju) Project Report in 2012 (in Korean).
- Korea Fisheries Resources Agency. 2014. Final Report of Marine Forests Project in 2014 (in Korean).
- Korea Fisheries Resources Agency. 2014. Demonstration Marine Ranch Development Project in 2014 (in Korean).
- Korea Fisheries Resources Agency. 2015. Final evaluation of fisheries resource development project (Marine Ranches, Marine forests field) in 2015 (in Korean).
- Matsumi Yoshiharu. 1988. Fundamental study on hydraulic function of artificial reef (in Japanese).
- Masayuki Miyauchi and Satoshi Akimoto 2001. Evaluation of fishing ground with the artificial reef “Fukuoka-Kasuya”, *Bull. Fukuoka Fisheries Mar. Technol. Res. Cen. No. 11* (in Japanese).
- National Fisheries Research and Development Institute 1999~2007. *Studies on the Development of Marine Ranching Program in Tongyeong, Korea* (in Korean).
- Pickering H and Whitmarsh D. 1997. Artificial Reefs and Fisheries Exploitation: a Review of the ‘Attraction versus Production’ Debate, the Influence of Design and Its Significance for Policy, *Fisheries Research* 31, 39-59.
- Pukyong National University Industry-University Cooperation Foundation. 2013. Evaluation of the function of and development of a placement model for artificial reefs (ARs) considering sea conditions (in Korean).
- Sawaragi T. 1995. *Coastal Engineering - Waves, Beaches, Wave-Structure Interactions*, Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands.
- Jung SM, Kim DH and Na WB. 2016. Wake Volume Characteristics Considering Artificial Reef Canyon Intervals Constructed by Flatly Distributed Artificial Reef Set, *Journal of Ocean Engineering and Technology* 30(3), 169-176 (in Korean).
- UNEP. 2009. *Guidelines for the Placement of Artificial Reefs*.

---

2017. 04. 24 Received

2017. 05. 26 Revised

2017. 05. 26 Accepted