



점, 선, 면의 개념을 도입한 인공어초 배치 모델 제안

윤 한 삼†
(부경대학교)

Effective Placement Models of Artificial Reefs included the Concepts of Point, Line, and Space

Han-Sam YOON†
(Pukyong National University)

Abstract

In this paper, we review cases of artificial reefs (ARs) deployed in Korea and internationally and examine the basic components that should be considered in AR facilities. In addition, we propose a suitable AR placement model according to the reduction of the legal AR facility area. From the review, we found that the basis of AR placement has shifted recently, from the distance of individual ARs to the submarine area in contact with ARs within an entire AR facility. In addition, structural features of ARs should exhibit certain characteristics, such as a symmetrical shape, roof structure, numerous structures with sloped and curved sections, and preferred shape (gap, concavity, and convex shapes) depending on the tidal current direction and marine organisms of interest. Finally, we propose point-, line-, and space-based AR placement models as three basic models describing AR placement and deployment. The results of this study will help practitioners effectively arrange and deploy ARs.

Key words : Artificial reefs(ARs), Effective placement model, Point/line/space-based model

I. 서론

인공어초(Artificial reef)는 연안역의 해저 또는 해중에 지형의 변화를 주기 위하여 인공적으로 설치된 어초를 말하며, 유용수산생물의 위집에 의한 생산력을 증가시키는 중요한 어장 시설이다 (Kim, 1995).

인공어초는 대형어로부터의 피난장소, 먹이를 구하는 장소, 산란장소, 강한 흐름을 피해 잠시 머물다 가는 휴식장소 등 어류 생활에 필요한 여러 환경을 제공하기 때문에 그 주변에 어류가 모인다고 볼 수 있다. 또한 인공어초 주변의 흐름

은 하류부에는 소용돌이가, 상류부에는 흐름의 가속(acceleration), 체류(stay), 곡류(meandering stream) 등이 존재하고 일부 영역에서 용승류(upwelling current)가 발생한다. 이와 같은 물리환경 변화로 인해 주변 플랑크톤 등의 해양 미생물의 체류, 해조류의 포착, 인공어초 주변의 간극 명암 등이 저서 생물의 착생을 촉진시켜 해양생물 서식 환경을 개선시키게 된다. 따라서 인공어초는 서식과 휴양이 조화된 장소를 어류에게 제공하는 것이다(Kim et al., 2002).

최근 Lee et al.(2016)이 우리나라를 비롯한 동아시아 인공어초 개발 역사와 연구 현황, 어초어

† Corresponding author : 051-629-7375, yoonhans@pknu.ac.kr

장 이용 효율 극대화 및 어초 개발 방향을 고찰한 바 있다. 또한 인공어초의 배치에 따른 후류역과 후류면적 등과 같이 어초 주변의 유향특성, 어초의 최적배치, 어초의 수리학적 안정성, 어초 주변의 국소세굴 및 어초의 매물, 침하 등에 대한 세부 연구들이 지속적으로 수행되어 오고 있다(Kim and Kim, 2008; Jung and Na, 2018; Kim et al., 2016; Lee et al., 2016)

수산자원조성 시설사업(인공어초 등)에 대한 어초어장 이용 효율성을 극대화하기 위하여 동서·제주 해역별 해양물리 및 저질 환경 특성을 고려한 인공어초 배치 모델을 수립하고, 어초의 영향범위를 고려한 어초시설 배치가 필요하다는 요구가 증대되고 있다(FIRA, 2013; Sohn et al., 2017). 이는 기존 국립수산물과학원(NFRDI, 2018) 및 한국수산자원관리공단(FIRA, 2015)에서 다양한 어초 배치 모델을 개발하고 제시한 상황이나, 이에 대한 설계 개념이 부족하다는 판단에 따른 것이라 할 수 있다.

아울러 해양수산부(MOF, 2018)가 인공어초 시설기준 면적을 16 ha에서 8 ha로 축소하여 공고한 바 있다. 이는 실제 인공어초의 시설 면적에 대한 기존 산정 방식에 문제가 있음을 반증한 것이라 할 수 있으며, 이로부터 향후 어초간 간격 단축에 따른 기존 어초와 새로 시설되는 어초간의 배치 개념의 도입 및 다양화가 요구된다.

따라서 본 논문은 현재 국내외 적용되고 있는 대표적인 인공어초 배치 모델 사례를 소개하고 어초 시설시 검토되어야 할 기본적인 항목 고찰 및 인공어초 시설기준 면적 축소에 따른 적정 배치 모델을 개발하여 제안하고자 하였다.

II. 인공어초 시설 기본 요소 검토

1. 어초어장 기본 구성 요소

가. 어초의 목적과 어장 기본 구성 요소
인공어초 시설은 어초의 표면에 해조류 및 저

서생물이 부착하여 서식, 성장하는 공간을 제공하는데 주목적이 있다. 이를 통해 자원조성 효과(수산생물의 직접적인 생성, 어류의 먹이생물 생산, 저서 정착어 증산)와 어장조성 효과(주변 어류 위집을 통한 어장 조성)를 거둘 수 있다.

여기서 자원조성 효과는 시설된 어초에 먼저 미세 규조가 부착하고 미역, 다시마 등 해조류가 서식하여 군락을 이룸으로써 어류 및 패류, 갑각류의 먹이생물이 생산됨에 따라 저서어가 서식하고 은신할 수 있는 어초어장이 형성되어 어장의 생산성을 향상시키는 방법이고, 어장조성 효과는 수심이 깊은 해역에 대형어초를 시설하여 회유어나 부어를 집어시킴으로써 인공어초 시설해역 주위를 좋은 어장으로 조성해 주는 효과가 있다(Bae, 1985).

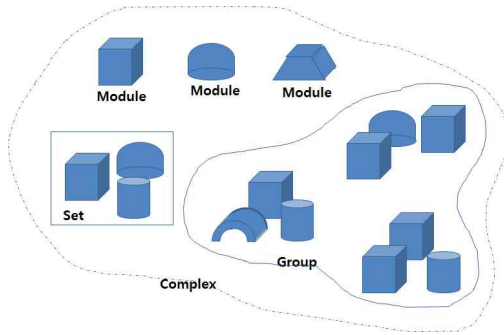
인공어초 어장의 기본 구성 요소의 정의는 [Fig. 1]과 같이 나타낼 수 있으며, 대상 해역의 지형, 해수유동, 주요 서식어종, 어업인 이용 어구 등과 관련하여 어초의 조합이 이루어지고 배치 방식에 일정한 조건은 없다고 할 수 있다.

어초 단체(Module, 單體)는 어초어장 구성에 쓰이는 1개의 어초구조물로서 인공어초 사업의 가장 기본 단위(Unit)에 해당한다.

단위 어초(Set)는 대형인 경우 1개 또는 소형인 경우 복수의 어초 단체(Module)로서 조성되는 최소 규모의 어초어장이고 어업 생산의 단위이면서 우리나라 일반어초 1개 단지당 시설기준에 해당한다(또한 1개의 단위 어초로 구성되어 있는 경우 단체초(單體礁), 복수의 어초 단체로 구성되어 있는 경우 군체초(群體礁)로 구분하기도 한다).

어초군(Group, 群)은 상호 관련된 복수의 단위 어초(Set)에 의해 구성되는 어초어장으로 단위 어초가 서로 관련되는 범위에 어획의 유효범위, 어군의 이동 가능한 거리와 유영의 영향 범위 등이 포함된 배치 개념이다.

마지막으로 어초대(Complex, 帶)는 복수의 어초군 등에 의해 구성되는 광역적인 어초어장으로 정의된다.



[Fig. 1] Basic components of AR systems.

나. 인공어초 시설 규정 변화 특징

우리나라 일반어초 1개 단지당 시설기준은 ‘인공어초시설사업집행 및 관리규정’(해양수산부 훈령 제258호, 2015.06.30.)에 어초의 목적에 따라 다음과 같이 규정되고 있다(MOF, 2018).

어류용 및 어패류용 어초의 경우 8 ha(8 ha 미만이라도 수산자원조성사업에 필요한 경우 조성가능)를 1개 단지로 하여 집중 설치하며, 1개 단지당 용적 800 m³ 이상 설치하는 것을 원칙으로 한다. 1개의 용적이 100 m³ 이하인 어초를 분산하여 설치할 경우 어초간의 거리는 가장 큰 변길이의 2~4배로 하여 설치한다. 또한 해조류용 및 패조류용 어초는 2 ha(2 ha 미만이라도 바다숲(해중림)사업에 필요한 경우 조성가능)를 1개 단위 어초로 하여 1단 평면으로 설치하며, 단위 어초당 설치면적은 설치된 어초의 평면 투영 면적을 기준으로 500 m² 이상으로 한다. 그리고 강제침선어초는 8 ha(8 ha 미만이라도 수산자원조성사업에 필요한 경우 조성가능)를 1개 단위 어초로 하며, 단위 어초당 용적은 800 m³ 이상으로 한다.

과거 인공어초 1개 단지를 16 ha로 규정한 것은 1985년, 1987년부터 단지 간 거리가 400 m이던 것이 300 m로 수정되어 2001년까지 유지되어 왔으나 최근 2015년 개정된 규정에서는 이 부분이 제외되었음을 알 수 있다. 즉, 최근 어초의 배치 개념이 개별 어초의 거리 기준으로 배치하는 것

보다는 전체적인 단지 면적대비 어초의 해저 접촉 면적 기준으로 변화되었음을 알 수 있다.

또한 어초의 설치 방법으로는 지역 여건과 어초 종류·기능에 따라 2단 이상 상적 또는 1단 평면 등으로 어초의 설치목적과 기능이 최대한 유지·확보되도록 설치하며, 1단으로 평면 설치하는 경우 어초군의 설치대상지 중앙 부분에 설치한다.

그리고 어초의 내용 년수는 일반적으로 30년 정도이며, 그 기간 동안 어초 기능을 유지할 수 있도록 설계되어야 하는데, 그 설계 내용은 주로 어초 침설시의 착저 충격력에 대한 내구성, 설치 후 파랑이나 조류에 대한 안정성(활동 및 전도 등), 세굴 및 매몰에 대한 검토 등이다(Kim, 1995).

결론적으로 이상의 인공어초 시설 규정 변화 특징들에서 인공어초 배치 개념에 고려되어야 할 부분들이 어초 수량, 공간, 설치 면적으로 요약된다고 할 수 있다.

2. 어초어장 조성시 고려 항목

가. 어초의 높이와 집적(集積)

① 저서성 어류의 경우

돔류, 볼락류, 넙치를 위집하기 위한 어초의 높이는 1 m로도 충분한 효과가 있고, 참돔, 붕돔, 조피볼락, 쥐노래미를 대상으로 한 어초의 경우에는 높이보다 어초 분포 면적의 넓이가 중요하다. 즉, 저서성 어류(Demersal fish)의 위집을 목적으로 한 어초 설치의 특별하게 어초의 높이(H)와 수심(h)비 (H/h)를 생각할 필요가 없다는 것이다. 또한 수심을 고려하여 투입한 어초의 높이에서도 어초 효과와는 관계가 없을 것으로 보인다(FIRA, 2013).

결국 저서성 어류를 대상으로 하는 경우 보통 어초 블록의 크기가 1~2 m이고, 어초 총 개수가 일정하게 정해진 조건에서는 2단 이상으로 집적하기보다 평면적으로 넓은 면적을 가지는 방향으

로 조성하는 것이 유리하다는 해석이 가능하다.

② 회유성 어류의 경우

회유성 어류(Migratory Fish)는 저서성 어류보다 어군량은 많지만, 체류시간이 짧다. 따라서 어군을 유집하여 체류시간을 길게 하는 의미에서 어느 정도의 집적이 필요하고, 초기 규모가 큰 어초 블록을 투하하여 입체적으로 어초가 어류의 시각 및 청각에 자극을 많이 갖도록 하는 것이 바람직하다. 하지만 그 규모의 상하한치를 절대량으로 표현하기에는 아직까지 구체적인 연구사례가 없는 것이 사실이다.

일반적으로 자연초의 규모(높이×넓이)가 인공어초의 규모보다 크고 어장 조성효과도 높다는 것은 부인할 수 없다. 그러나 단위용적당 집어효과, 집어율(집어량/단위용적)을 고려하여 살펴보면 자연초보다 인공어초의 어장 조성효과가 크다는 것으로 알려져 있다(FIRA, 2013).

나. 어초의 평면적인 넓이

어초의 평면적인 넓이의 의미는 해저에 설치하는 어초의 경우 일정 해저 면적에 대해 공극이 없이 어초블록이 놓여진 상태(1척의 침선어초의 경우도 있음)와 어초 단체(또는 소규모 어초)가 만드는 생물유효 공간 단위로서 일정 해저 면적 내에 간극 또는 공극이 없이 배치된 경우를 말한다.

전자의 경우, 서로간 근접 어초블록의 측면 표면적 증가뿐만 아니라 해수유동에 대한 저항 벽면의 효과를 가질 수 없다. 이것은 생물에 대한 자극발생 기능을 현저하게 떨어뜨린다. 후자의 경우, 어초의 그 배치 조건이 같으면 단위면적당 어초 효과는 전자의 경우와 거의 같다고 생각할 수 있으나, 어초의 평면적, 유효공간의 형성에는 전술한 어초의 경우보다 유리하다고 할 수 있다. 또한 어초의 경사면 부분은 어초기능을 발휘하지만, 평탄한 부분에서는 해수유동의 변화, 생물자극 기능이 경사면보다 상대적으로 역할이 적다고 볼 수 있다(FIRA, 2013).

규모로서의 어초 시설 넓이는 대상어종 및 위집 어군량의 크기에 따라 상대적인 적정 규모를 생각할 수 있으나, 수량적으로 표현하기는 불가능하다. 다만 지나치게 분산시켜 시설하게 되면 어초에서 유발되는 환경자극도 분산되어 효과가 감소되기 때문에 어초시설의 평면적(넓이)은 해저에 시설된 어초 투영면적의 20배 이내가 바람직하다고 제안되어 있다(Kim et al., 1994; Kim et al., 2006)

다. 어초간의 공간효과

어초에 어류가 위집하는 경우, 구조물에 접촉 또는 긴밀하게 접근하는 저서성 어류를 제외하고 대부분의 어류는 어초 주변부에 위집하여 어초와의 상대 위치에 따라 어초를 이용하는 행태가 달라진다(FIRA, 2013).

어초 단체(Module)간 간격은 일반적으로 2 m 정도가 적당한 것으로 알려져 있지만, 회유성 및 저서성 어류에 대해서도 어초의 조성 유효공간을 넘어서 분산 시설을 할 경우 그 어초의 집어 효과가 크지 않다고 판단된다. 개념적으로 저서성 어류의 경우 수십~수백 개 정도의 수량으로 구성된 단위 어초(Set)를 10~20 m 정도 간격을 갖도록 수평 배치하는 구조가 바람직하고, 회유성 어류의 경우는 수심에 대한 높이가 어느 정도 요구되기에 쌓아서 시설하는 것이 필수 조건이다(FIRA, 2013). 하지만 어초군 간의 생물 유효공간을 검토한 연구 결과나 그 수준은 충분하지가 않다.

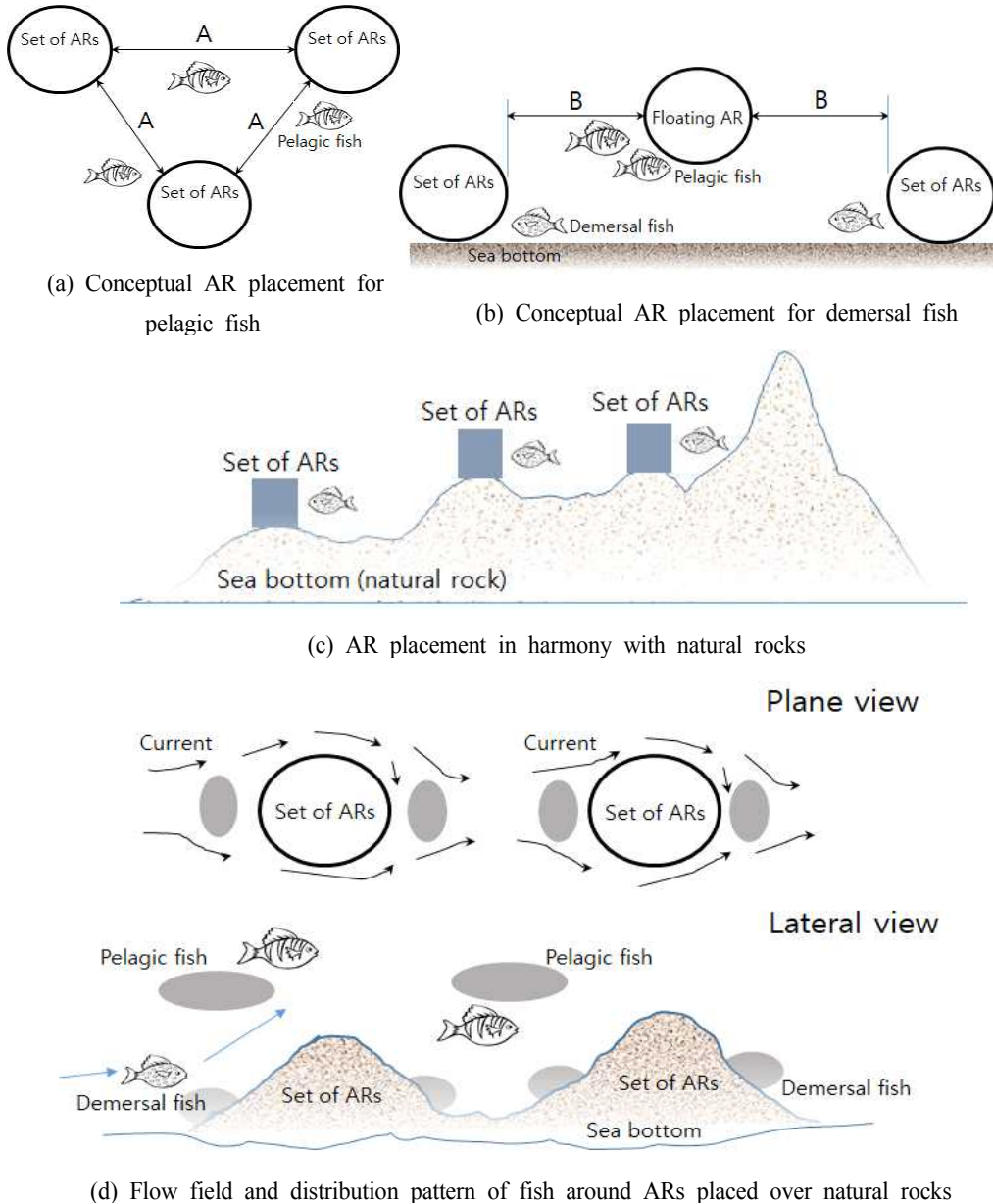
2015년 인공어초 시설 규정 변경 이전의 경우 어초의 유효공간이 저서성 어류에 대해서는 어초 구역과 그 주변 100 m, 회유성 어류에 대해서는 200 m, 1단 어초 유효공간으로서는 400 m² 정도가 최소 단위로 보는 것이 일반적이었다. 예로 들어 참돔, 벤자리는 어초에 70 m 정도까지를 유효범위로 보고 있다.

결과적으로 어초의 유효공간은 해역마다 대상어종에 따라 조금씩 차이를 나타내지만, 기존 조사결과를 종합 분석하면 저서성 어류를 대상으로

하는 경우 어초간의 거리는 200 m, 회유성 어류는 400 m가 되는 것으로 추정된다(FIRA, 2013).

따라서 어초자체의 용적만이 어류를 위한 유효공간이 아니기에 어초 주변부의 생물유효공간을 가능한 증대시키기 위해 단일체간, 어초군 간의

적정한 유효공간을 찾고자 하는 연구 및 수치화하는 노력이 필요하다. 최근 Kim et al.(2014), Woo et al.(2014), Yoon et al.(2016) 등의 연구가 여기에 해당한다.



[Fig. 2] Conceptual model and separation distance of ARs in harmony with natural rocks.

라. 어초의 배치

인공어초의 설치사업에서 가장 문제가 되는 것은 어떤 어초 단체(Module)를 시설하며, 단위 어초(Set)를 어떻게 배치할 것인가이다.

[Fig. 2]는 인공어초의 배치 개념을 정리한 것이다. 그림에서 (a)와 (b)는 저어류 어류(Demersal fish) 및 부어류 어류(Pelagic Fish) 등 대상 어종에 따른 어초의 이격, (c)는 자연 암반과의 조화를 이루는 어초의 배치 개념, (d)는 인공어초가 자연 암반을 대체할 경우 어초 주변의 흐름과 어류 공간 분포를 개념적으로 제시한 것이다.

Bae(1985)는 어초의 효과적인 배치는 중앙에 약 10%의 블록군을 형성하고 주위에 3% 정도로 분산함이 이상적이며 저서 정착어종 소형어초의 블록과 블록 사이의 거리는 약 300 m 정도, 어초 블록이 합하여진 어초군과 거리는 약 600 m가 이상적인 것으로 판단한 바 있다.

또한 FIRA(2013)는 단위어초의 크기는 콘크리트어초는 400~1,600 m², 조립식 대형어초는 2,000~4,000 m²가 경제적이고 효과가 있으며, 연안 저어성 어류를 대상으로 시설하고 있는 콘크리트 어초는 집중 산적 시설함이 이상적이라고 제시하고 있다. 즉, 어초군 중앙에 블록을 형성하고 주위에는 단위 어초가 분산되는 것이 좋으며 2 m 크기의 단위 어초(Set) 간의 거리는 300~400 m, 그리고 저어류를 대상으로 하는 경우는 1,500 m의 거리가 이상적이고, 해류나 조류의 방향으로 직각되게 배치, 해저 용기부에 설치함으로써 어류의 유집 효과가 증대된다는 것이다.

한편, 현장에 따라서 소형 어초는 크레인 등에 의하여 수중에 집중 시설하므로 어초 시설시 조류나 파랑 등에 의하여 배가 이동하고 부력에 의하여 시설 지점에서 분산되는 사례가 종종 발생하기도 하는데, 가급적 집중 시설하도록 노력하여야 한다.

마. 어초의 시설 수량

일반적으로 인공어초 어장의 구조와 배치를 결

정함에 있어서는 대상 해역의 해양환경특성을 고려한 어초 넓이, 높이, 재질 등과 대상어업의 어획실태, 대상어종의 수심대별 위집분포 등의 다양한 인자를 고려하여 결정하게 된다.

하지만 현실은 어초의 규모 결정에 있어 단순 적지조사에 의하여 기존에는 16 ha당 100개 정도의 사각어초를 현수투하 상적 시설하는 것을 기본으로 어초의 경제성 및 기능성 등을 평가하였다. 그 외 일반어초의 시설량을 산정하는 경우 반구형 1,520개, 뿔삼각형 200개, 육각형 150개, 원통형 100개, 대형 잠보형 어초 10개 등으로 수량을 산정하는 경우가 많다. 이는 결국 사각어초 시설 기준에 대비하여 타 어초의 수량을 결정하는 방식이라 할 수 있다. 따라서 인공어초 시설 기준 면적 축소(16 ha에서 8 ha로 축소)에 따른 어초 시설 수량의 변화에 대해 검토가 요구된다.

3. 기존 인공어초 배치 모델

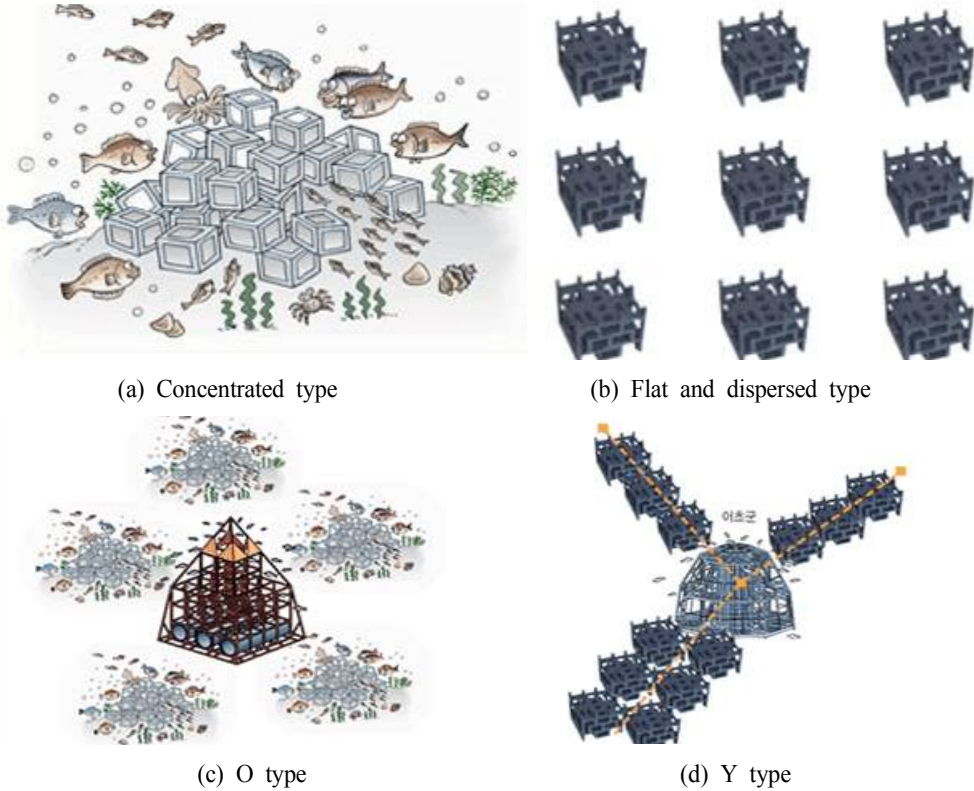
전술한 내용을 바탕으로 인공어초의 수량, 공간, 시설을 고려하여 어초를 현장에 어떻게 배치할 것인가? 이는 그리 쉽게 판단할 사항이 아니다.

이러한 측면에서 인공어초 사업과 관련하여 한국수산자원관리공단(FIRA, 2018)은 목적성 어초로서 몇 가지 어초 배치 개념을 제안하고 있다. [Fig. 3]은 기존 2005년도에 개발된 인공어초 배치 모델 2 종과 새롭게 개발될 인공어초 배치 모델의 경우로서 어류용 어초의 경우 4종으로 어초 배치형 Y, W, Z, O형, 패·조류용 어초의 경우 2종으로 기존 암반과 연계하거나 단독으로 시설되는 경우를 제시한 바 있다(www.fira.or.kr). 이는 단위어초가 서로 관련되는 범위에 어획의 유효범위, 어군의 이동 가능한 거리와 유형의 영향 범위 등을 고려하여 단위어초를 배치하는 어초어장 개념을 나타낸다고 할 수 있다.

현재 우리나라 각 해역의 어초어장관리사업을 위한 어초어장도에 제시된 배치형태를 살펴보면 <Table 1>과 같이 집중산적(Group Deployment),

집중평면(Plane Deployment), 평면분산(Plane Dispersion Deployment), 분산시설(Dispersion Deployment), 독립시설(Independent Deployment)로 구분하여 제시

하고 있다. 이는 현장에 시설된 어초 조사 결과를 바탕으로 구분하고 장래 시설 방향으로 제정된 것이라 할 수 있다.



Source: Korea Fisheries Resources Agencies(FIRA). 2018. Homepage(<http://www.fira.or.kr/>).

[Fig. 3] Examples of AR placement models developed by FIRA in 2015.

<Table 1> basic parameters for artificial reef placement

Parameter	Deployment option	Description
Quantity	Group	Individual ARs placed together in one group
	Unit	Basic module in AR facilities
	Independent	A single AR structure
Space	Plane	Stacked and layered AR structure on a flat seabed surface
	Body	Multiple flat or curved surfaces on a multi-layer AR structure or in a three-dimensional space
Installation	Dispersion	Widely separated ARs
	Concentration	ARs are gathered within one area

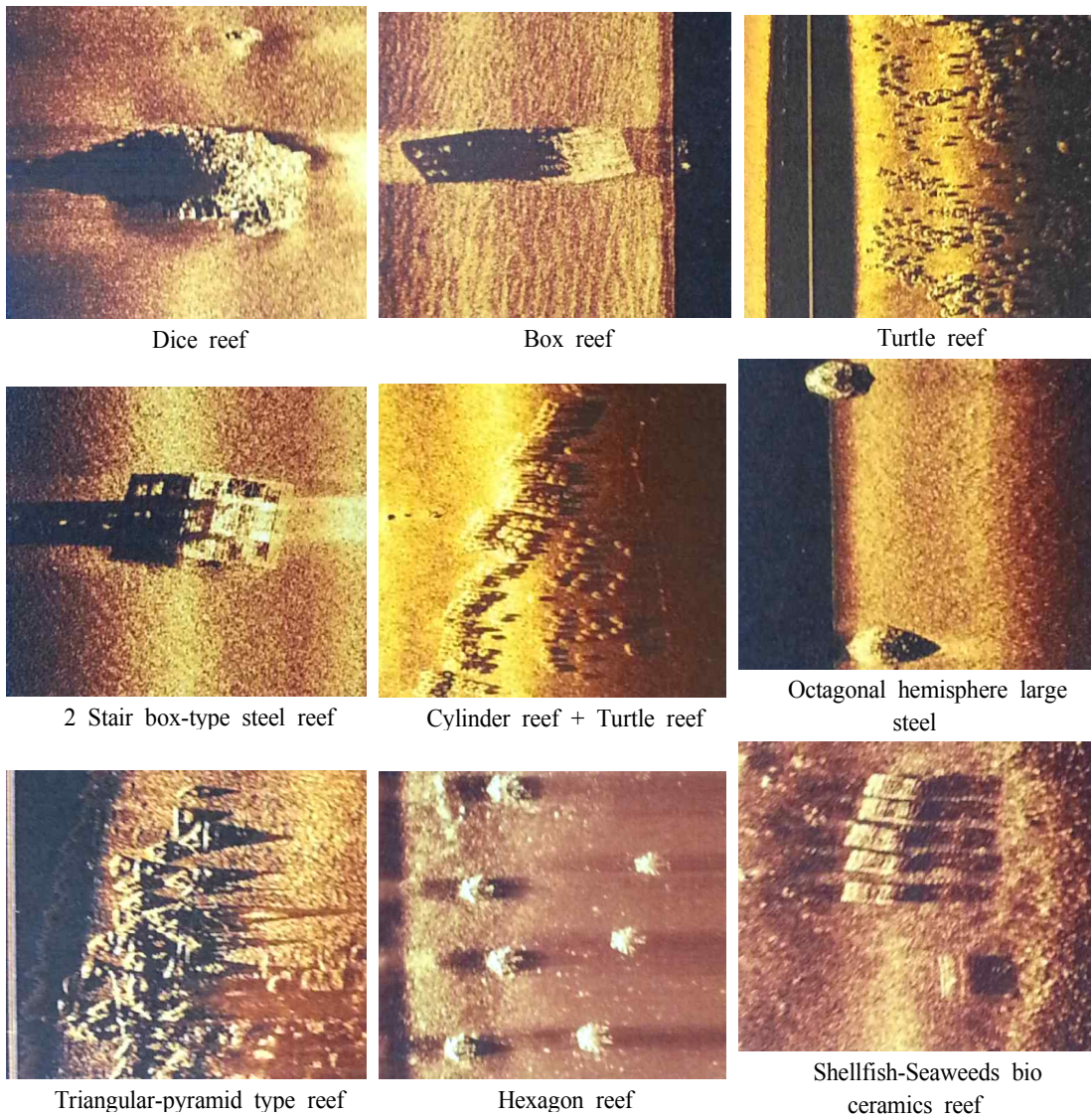
4. 실해역 인공어초 배치 사례

가. 부산 및 경남해역 어초 시설 사례

본 연구에서는 부산 및 경남해역에 대한 최근 인공어초어장관리 조사 보고서를 수집하여 기 시설된 어초들의 어초별 배치 상황을 파악하고자 하였다. 결과적으로 실제 해역에 설치된 어초별 배치 형태를 살펴보면 [Fig. 4]와 같이 살펴볼 수

있다.

어초의 규모, 형태, 목적성에 따라서 대체적으로 <Table 1>에 제시된 바와 같이 집중산적, 집중평면, 평면분산, 분산시설되어 있음을 알 수 있다. 특히 기 시설된 어초들은 동일 어초로 군체를 형성하거나 최근 높이를 달리한 어초의 조합에 대한 배치개념을 도입하여 시설한 사례를 살



[Fig. 4] Images of ARs observed with a side-scan sonar along the coast of Busan, South Korea.

펴볼 수 있다. 하지만 어초군 배치 개념이 단순하고 어초간 이격거리 및 수량에 대한 설계요소에 해역의 수심 및 경사 등의 물리환경적 특성이 고려되어 시설되지 않았음을 알 수 있다.

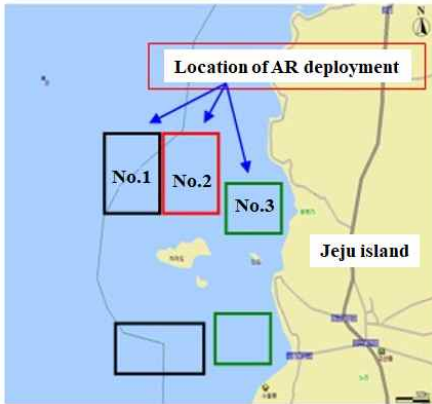
나. 시범바다목장 어초 배치 사례

육상의 목장이 소나 말, 양 등의 가축을 방목하여 사육하는 넓은 초원을 의미하는 것과 같이 바다목장은 어류 등의 주요 해양 동물을 일정한 해역 안에서 방류, 사육하여 수확하는 바다의 목장을 의미한다.

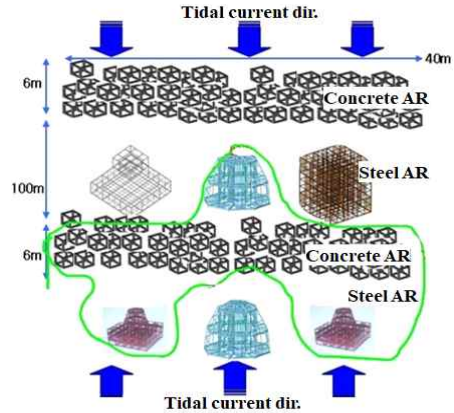
바다목장은 환경제어, 어장조성, 종묘방류, 육성관리, 어획관리 등 광범위한 기술 요소를 유기

적으로 결합한 관리형 어업이며, 연안뿐만 아니라 근해의 넓은 수역과 많은 해양생물을 대상으로 하는 것이 목표이다. 즉, 바다목장이란 어장환경과 바다 생물을 효율적으로 제어·관리하여 해양의 생산력을 높이는 시스템을 구축하는 것이므로 해양생태계에 대한 전반적인 관리가 필수요건이라고 할 수 있다(FIRA, 2018).

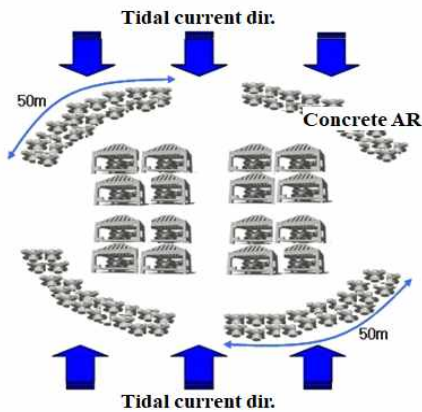
우리나라는 통영 해역 일원을 시작으로 동·서·남·제주 해역에 시범적으로 바다목장을 조성하고 제반기술을 개발하여 바다목장사업을 전국적으로 확대하였다.



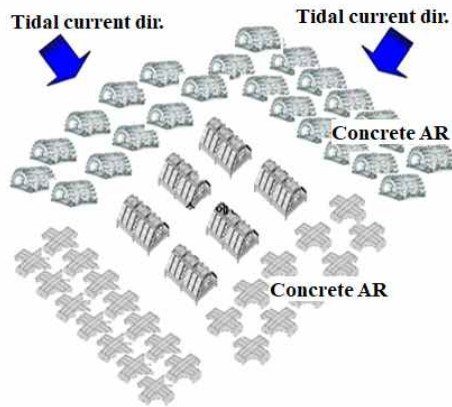
(a) Locations of the deployment regions



(b) ARs deployed in region No. 1



(c) ARs deployed in region No. 2



(d) ARs deployed in region No. 3

[Fig. 5] Layout of ARs in the Jeju Trial Sea Farm Project (South Korea).

또한 해역별 바다목장화 모델을 정하고, 각 연안에서는 어초 개발과 생태계 파악을 실시한 바 있다.

그 중에서 [Fig. 5]와 같이 제주 해역 시범바다목장의 경우 (a)와 같이 3가지 어초 배치 모델이 개발되었다. 먼저, 어류자원 조성을 위해 1번 지역의 (b)에는 팔각반구형, 원통2단형 등의 높이가 높은 어초와 낮은 사각어초의 조합으로 구성되어진 모양을 가지고 있다. 또한 해중립 어패류 복합형 시설지인 2번 지역의 (c)의 경우 핵사포드형 어초를 외곽으로 둘러싸고 중앙에 정자형 어초를 분산 시설하여 다소 조류방향을 고려한 형태의 배치개념을 제시하였다. 그리고 해중립 어장인 3번 해역의 (d)의 경우 외곽에 반툽니형 및 십자형 해중립초를, 중앙에 하우스형 해중립초를 배치함으로써 다소 높고 낮음을 고려한 어초 배치 또는 조류방향을 고려한 시설이라고 판단된다.

다. 일본 인공어초 시설 배치 사례

일본 후쿠오카 현 인공어초 시설 배치 사례를 중심으로 어초 배치 개념을 살펴보고자 하였다.

FIRA(2013)에 따르면 일본의 경우 어초 규모가 커짐에 따라 어획량은 증가하지만 그 증가율은 어초 규모 6,000 m²에서 둔화하는 경향이 있다고 알려져 있다. 따라서 단위어초로서의 효과적인 어초 규모는 일반적으로 6,000 m²정도가 적당한 것으로 보고 있다. 또한 단위어초 배치의 경우 인공어초시설 대상수역(수심 60~70 m)의 어군 분포는 수직방향 20 m, 수평방향 50 m 이내에 어군이 집중 위집하고, 수평방향으로 500 m에서 어느 정도 어군이 분포하는 것이 조사되었다. 그 결과에 의하여 어초의 효과범위를 500 m로 판단, 단위초의 간격을 약 1,000 m(양쪽 각 500 m씩)로 하여 시설을 하고 있다(Lee, 2000).

후쿠오카 현 외해의 인공어초 배치 자료를 나타내면 [Fig. 6(a)]와 같다. 6×10×10 m 크기의 강제어초를 중심으로 2×2×2 m인 사각형 콘크리트 어초를 주위에 배치하는 개념임을 알 수 있다.

주요 대상어종, 이용 어구와 관련하여 결정되는 요소로 단체초의 배치 방식에 상술한 일정한 조건이 고려되지 않고 있음을 알 수 있다. 즉, 단위어초의 크기가 임의로 결정됐다 하더라도, 단체초의 조합은 무한하며, 서로 겹치지 않도록 일정 거리 산재, 큰 것과 작은 것의 조합 등 다양한 형태의 배치 개념이 적용될 수 있고 위의 경우 높이와 넓이를 가지는 어초의 조합으로 구성할 수 있음을 의미한다.

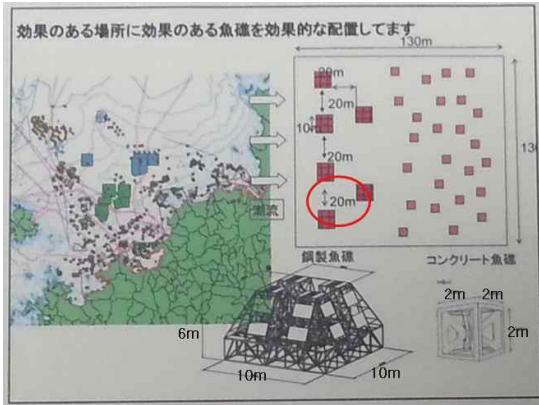
또한 여기서 특이한 점은 조류 방향을 고려하여 어초의 높고 낮음을 반영하고 있다고 할 수 있다. 즉, 전면에서 6 m의 높은 어초를, 배후에 2 m의 낮은 어초를 배치함으로써 어초어장을 조성하였다는 점이다. [Fig. 6(a)]에서 어장 조성 계획면적은 130 m×130 m=16,900 m²이며, 이 중 강제어초가 차지하는 면적은 600 m², 콘크리트어초는 100 m²에 해당한다. 실제 어장 조성 계획면적 대비 어초의 실점유면적은 전체 면적의 4.1%에 그치는 것을 알 수 있다.

이는 목표하는 어장조성 면적에 대해 어초의 실점유면적이 그리 크지 않음을 나타낸다. 즉, 어초의 어획량 증대를 위해 해역의 환경특성에 따라 차이를 보이기는 하지만 많은 면적을 차지하는 어초의 사용보다 적당한 이격거리를 고려함으로써 충분히 그 어초의 효과를 극대화하고 경제적 효과를 거둘 수 있다는 점을 시사한다.

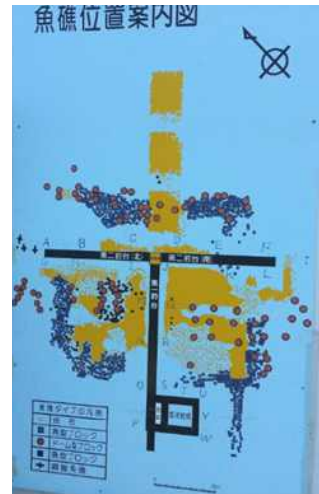
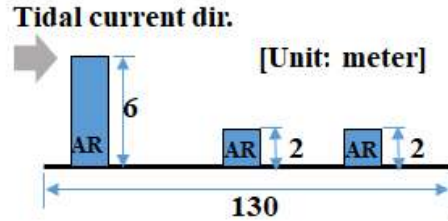
또한 [Fig. 6(b)]는 일본 후쿠오카의 유료 낚시터(Sea Fishing Park)의 어초 배치도를 나타낸 것이다. 목적하는 어종이 서식할 수 있는 환경조성을 위해 어초 시설을 구분하거나 유도한 사례라고 할 수 있다. T형 잔교 주변으로 서식하는 대상 해양생물을 고려하여 각기 다른 형태의 어초가 시설 배치되어 있음을 알 수 있다.

결과적으로 앞서 기존 사례에서도 살펴보았듯이 인공어초 어장 조성에 있어서 단위어초의 배치 방식에 대한 매뉴얼화된 일정한 조건은 없다고 할 수 있으며, 현장의 조건에 따라서 달라질 수 있음을 알 수 있다.

점, 선, 면의 개념을 도입한 인공어초 배치 모델 제안



(a) Outer Sea Region of Fukuoka, Japan



(b) Sea fishing park of Fukuoka, Japan

[Fig. 6] Examples and concepts of deployed AR facilities in Japan.

Ⅲ. 새로운 인공어초 배치모델 제안

1. 인공어초 배치 기본 개념 설정

최근 바다목장 해역에 어초 높이, 대상어종, 해저경사를 고려한 어초 배치 개념의 도입이 요구되고 있으며, 조류방향에 자유로운 대칭형, 지붕구조형상, 경사판/꼭각부 많은 구조, 어종 선호형상(틈, 요철형)을 가진 어초가 선호되고 있다 (FIRA, 2013; Sohn et al., 2017).

또한 적지선정에 있어서 1개를 대상하는 어초

단체에 대한 평가항목임을 감안하더라도 실제 해역에서 시설될 경우에 대한 어초 배치 개념을 고려한 평가항목은 명확하게 제시되어 있지 않다는 것을 알 수 있다.

결과적으로 수중에 위치하는 인공어초는 기본적으로 도형으로 나타낼 수 있다. 도형의 기본 요소는 점, 선, 면, 공간(입체)으로 구성된다. 즉, 점이 모여야 선이 되고 선이 모여야 면이 되고 면이 모여야 공간(입체)이 된다. [Fig. 5] 및 [Fig. 6(a)]와 같이 기존 어초어장의 배치계획 수립과정에서도 이와 같은 점, 선, 면의 기본적인

요소가 반영되었다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 어초 배치 기본 모델을 개발하기 위해서 상술한 바와 같이 단순하게 점, 선, 면의 개념을 도입하여 각각의 형식 모델을 제시하고자 하였다. 제시하고자 하는 배치 모델 형식은 점(Point), 선(Line), 면(Area or Space) 형식의 3가지 어초 배치 모델 안이라 할 수 있다.

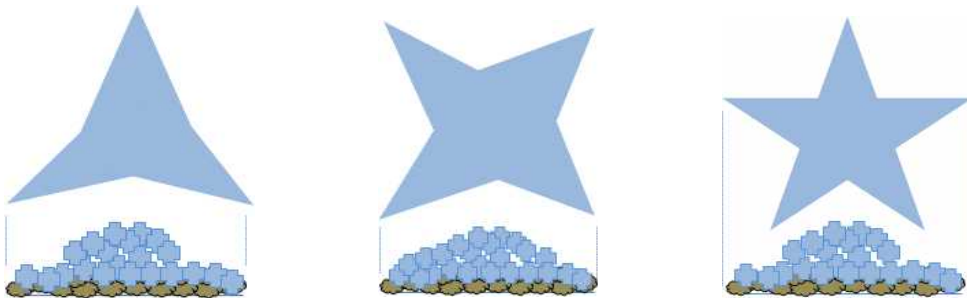
2. 새로운 인공어초 배치 기본 모델

본 연구에서는 해역별 특성을 고려한 어초의 적정 배치 모델을 점(Point), 선(Line), 면(Area or Space)의 개념을 제안하였으며 각각의 3가지 어초 배치 개념에 부합하는 형식의 어초 배치 모델을 다음과 같이 도출하였다.

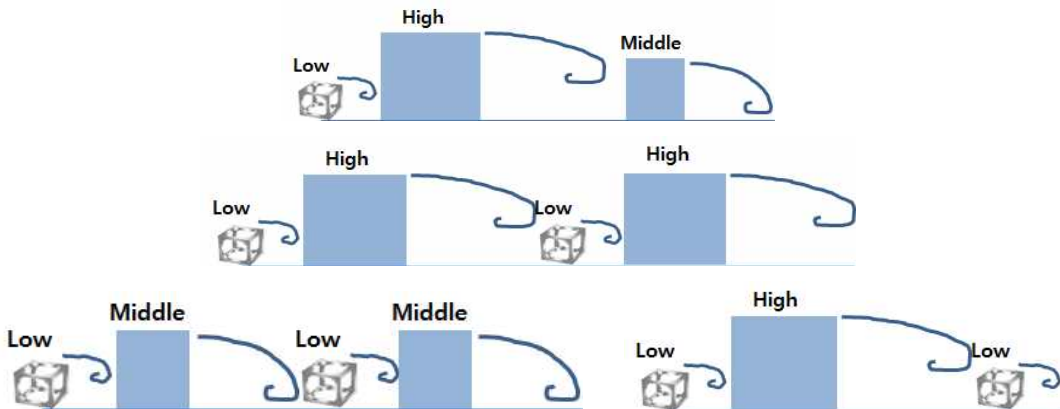
첫째, 점(Point) 형식의 어초 배치 모델은 [Fig.

7]과 같다. 광의의 의미에서 인공어초 어장도 어초단체의 작은 부분으로 구성되어야 한다. 따라서 기존 시설방식에 해당하는 집단산적(단위어초여럿이 모여 이룬 상태로 쌓아 놓음) 방식을 활용하여 개선방안을 찾아가는 것이 좋은 방법이라 판단된다. 따라서 점 형식의 어초 배치 모델은 조류 방향에 자유로운 대칭형이면서 지붕구조 형상을 가지고 있어야 하며, 경사판/곡각부가 많은 구조와 대상어종의 선호 형상/구조(틈, 요철형 등)를 담고 있어야 한다.

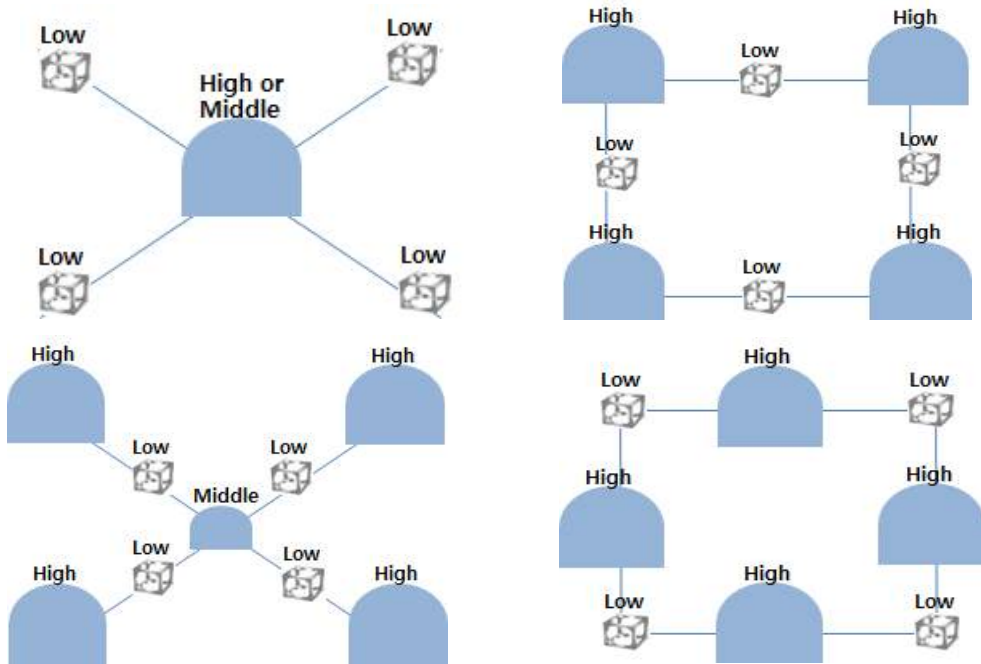
둘째, 선(Line) 형식의 어초 배치 모델은 [Fig. 8]과 같다. 이는 조류 방향을 고려한 어초의 분산배치와 수심을 고려한 높고 낮은 어초 배치가 공존하는 것으로 기존 제주 및 전남 시범바다목장해역에 적용된 기본 개념을 포함한다고 할 수 있다.



[Fig. 7] Conceptual diagram of AR placement models based on the point concept.



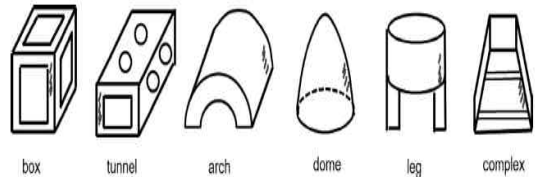
[Fig. 8] Conceptual diagram of AR placement models based on the line concept.



[Fig. 9] Conceptual diagram of AR placement models based on the space concept.

마지막으로 제안하는 면(Space) 형식의 어초 배치 모델은 [Fig. 9]와 같다(Area 또는 Body의 개념으로 생각할 수 있음). 이는 전술한 점 및 선의 조합으로 이루어진 형태를 복합적으로 고려한 것으로 전술한 바와 마찬가지로 조류 방향을 고려한 분산배치와 수심을 고려한 높고 낮은 어초 배치를 함께 고려한 것이다.

앞서 제시된 선과 면 형식의 어초 배치에 대한 어초간의 이격거리는 Kim et al.(2014)의 연구결과로부터 일반어초 24종의 후류길이(wake length)를 고려하여 시설되는 것이 바람직하다고 판단된다. 즉, 후류길이는 어초 높이(H)의 0.60~16.0H의 범위를 가지고 있으며, 효율적인 어초 배치를 위해서는 요철형 배치와 조류의 방향을 고려해야 한다는 것이다. 새롭게 개발되는 신형 어초의 경우에는 일반어초 24종을 바탕으로 [Fig. 10]과 같이 6종의 형상으로 추정된 어초 높이 대비 후류길이 추정식으로부터 계산할 수 있다. 추정식은 Kim et al.(2014)의 연구결과로부터 얻을 수 있다.



[Fig. 10] Conceptual models of common AR shapes.

전술한 3가지 어초어장 배치 모델안을 실제 어초어장 설계시에 어떻게 적용할 것인가에 대한 고민은 어쩌면 당연한 것이라 할 수 있다. 하지만 이를 산정하는 방식은 다소 쉽지만은 않은 것이 사실이다. 대상 해역의 해양환경특성, 어초 넓이, 높이, 재질 등과 대상어업의 어획실패, 대상어종의 수심대별 위집분포 등의 다양한 인자들이 종합적으로 고려하여 결정될 수 밖에 없기 때문이다. 또한 산술적으로 계산을 통해 결정되는 사항이 아니라 설계자의 판단과 정책적인 고려가 반영되어야 함도 포함하고 있다.

하지만 본 연구에서 제시하는 인공어초 배치에 대한 기본적인 배치 모델에 기초하여 확장해 나가는 방안이 실무자에게 보다 올바른 판단을 하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

IV. 결론

본 논문은 현재 국내외 적용되고 있는 대표적인 인공어초 배치 모델 사례를 소개하고 어초의 시설시 검토되어야할 어초의 높이와 집적, 어초의 평면적인 넓이, 어초간의 공간효과, 어초의 배치 및 시설 수량에 대한 일반적인 사항을 고려하여 인공어초 시설기준 면적 축소에 따른 적정 배치 모델을 개발하여 제안하고자 하였다. 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 최근 인공어초의 배치 개념이 개별 어초의 거리 기준으로 배치하는 것보다는 전체적인 단지 면적대비 어초의 해저 접촉 면적 기준으로 변화되었다.

둘째, 대상 해양생물의 종류에 따라서 조류방향에 자유로운 대칭형, 지붕구조 형상, 경사판/극각부 많은 구조, 어종 선호 형상(틈, 요철형) 등의 특징을 반영한 인공어초 배치 기본 모델 개발이 요구된다.

셋째, 본 논문에서는 인공어초 배치 기본 모델로서 점(Point), 선(Line), 면(Space) 형식의 3가지 어초 배치 모델 안을 제안하였다.

이상의 연구결과는 향후 인공어초를 배치하고자 하는 실무자에게 보다 올바른 판단을 하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 또한 실제 인공어초 시설지 설계에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

References

Bae, Pyung-Am(1985). Status and Effects of Artificial Reef Facilities, The journal of Korean fishing vessel society, 50~57.

FIRA(Korea Fisheries Resources Agencies)(2013). Evaluation of the functions of and development of a placement model for artificial reefs(ARs) considering sea conditions, Pukyong national univ., Project report, 306~209, 345~349.

FIRA(Korea Fisheries Resources Agencies)(2015). Hydraulic stability evaluation and optimum model development of artificial reefs for marine afforestation, Ministry of Oceans and Fisheries(MOF).

FIRA(Korea Fisheries Resources Agencies)(2018). Homepage(<http://www.fira.or.kr/>).

Jung, Somi and Na, Won-Bae(2018). Placement Models of Marine Forest Artificial Reefs to Increase Wake Region Efficiency, Journal of Fisheries and Marine Science Education, 30(1), 132~143.

Kim, Dongha · Woo, Jinho · Yoon, Han-Sam and Na, Won-Bae(2014). Wake lengths and structural responses of Korean general artificial reefs, Ocean Eng., 92, 83~91.

Kim, Dongha · Jung, Somi and Na, Won-Bae(2016). Wake Region Estimation of Artificial Reefs using Wake Volume Diagrams, Journal of Fisheries and Marine Science Education, 28(4), 1042~1056.

Kim, Nam-Hyeong(1995). Artificial fish as a fishery structure, Korea Fisheries Infrastructure Promotion Association(FIPA), Fishing port, 43~47.

Kim, Jae-Hwan · Kang, Suk-Pyo · Kim, Chang-Gil · Kwon, Young-Jin and Kim, Moo-Han(2002). The present condition of domestic artificial reefs, Korea Concrete Institute, Concrete magazine, vol.4(2), 61~69.

Kim, Chang-Gil · Kim, Ho-Sang and Seo, Jang-Woo(2006). A Study on the Optimum Scale of Artificial Fishes Located on Gyeongnam Coast, Proc. of Fisheries and aquatic science, 45~46.

Kim, Chang-Gil · Lee, Jeong-Woo and Park, Joo-Suck(1994). Artificial reef designs for Korean coastal waters, Bull. Mar. Sci., 55(2-3), 858~866.

Kim, Chang-Gil and Kim, Ho-Sang(2008). Post-placement management of artificial reef in Korea, Amer. Fish. Soc., 33(2), 61~68.

Lee, Moon-Ock · Kim, Jong-Kyu and Kim, Byeong-Kuk(2016). A Review-status of Development and Research of Artificial Reefs in

- the East Asian Countries, *Journal of Fisheries and Marine Science Education*, 28(3), 630~644.
- Lee, Jeong-Woo(2000). Future Policy Direction of Artificial Aquatic Facilities, *Fisheries and aquatic science*, 35~76.
- MOF(Ministry of Oceans and Fisheries)(2018). Implementation and management regulation of artificial fishery facility business (online). Anweisung No.258, Available from: <http://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=8513&searchSelect=title&searchValue=%EC%9D%B8%EA%B3%B5%EC%96%B4%EC%B4%88&boardKey=35&menuKey=402¤tPageNo=1> (assessed 2015.06.30.)
- NFRDI(National Fisheries Research and Development Institute)(2018). Homepage(<http://www.nfrdi.re.kr/>).
- Sohn, Byung-Kyu and Jeong, Seong-Jae(2017). A Study on the optimal placement model building of artificial reef, *J. Korean Soc. Fish. Technol.*, 53(2), 160~168.
- Woo, Jinho · Kim, Dongha · Yoon, Han-Sam and Na, Won-Bae(2014). Characterizing Korean general artificial reefs by drag coefficients, *Ocean Eng.*, 82, 105~114
- Yoon, Han-Sam · Kim, Dongha and Na, Won-Bae(2016). Estimation of effective usable and burial volumes of artificial reefs and the prediction of cost-effective management, *Ocean Coast. Manag.*, 120, 135~147.
-
- Received : 05 June, 2018
 - Revised : 19 June, 2018
 - Accepted : 27 June, 2018