어촌종합개발을 위한 인공증식장 조성기술 방향

김 현 주 / 한국기계연구원 해양기술부선임연구원
류 청 로 / 부경대학교 해양공학부교수

1. 서언

연안역의 난개발과 해양오염의 가속화로 연안 생태계의 파괴와 수산자원의 감소가 심화되고 연안역은 날로 황폐화되어 가고 있다. 해양 생태계의 불균형 및 환경파괴는 삶의 질뿐만 아니라 인류 생존과도 밀접하여 이에 대한 염려는 자연을 단순히 오염원이나 행위에 대해 보호하는 차원으로부터 적정 생태계 및 환경으로 회복시키거나 창조하는 차원으로의 발전을 요청하고 있다. 한편, 인류는 해양생물을 주요 단백질원으로서 의존하고 있으며, 산업성장기를 거치며 고급 어개류에 대한 수요도 증가하고 있어 지속가능한 수산자원의 이용을 위해서는 거시적으로 자원을 조성 관리하고 이용을 극대화하기 위한 기술체계의 정립이 요망된다.

한편, 수산업은 산업 및 주변 환경변화와 상대적 낙후로 침체의 늪을 벗어나지 못하고 있으며, 이는 어장의 감소와 황폐화 및 자원고갈과 관련한 어장의 문제와 수산업의 힘든 노동과 상대적인 소득의 저조와 관련한 어장 및 어항의 낙후성 및 생활교육여건의 후진성 및 새로운 산업과의 접목에 의한 연안역의 가치 창출을 능동적으로 수용하지 못하고 있는 것에 기인하는 문제로 생각할 수 있다. 따라서, 이러한 문제들을 해소하고 수산업 및 어촌에 활기를 불어넣기 위한 어장-어항의 기반강화를 통한 어장·어항·어촌의 종합 개발이 요구되고 있다.

본 고에서는 어장·어항·어촌의 종합 개발을 통한 연안정주권의 형성과 수산물의 안정적 공급을 위한 주요 기반의 하나로서 인공증식장 조성시스템을 생태환경제어공학 측면에서 논의하고자 한다. 인공어초의 어초성과 생태계 제어기능을 고찰하여 인공 어초 및 증식장 조성시스템을 위한 설계인자화를 논의하고, 어장-어항-어촌 종합개발을 위한 자원관리형 재배어업 실현을 위한 인공어초 배치시스템을 정리하고자 한다. 그 요소시설로서 요구되는 기능형 인공어초의 개발방향을 고찰함으로써 인공증식장 조성기술의 기초적 검토를 수행하고자 한다.

2. 어장·어항·어촌 종합개발을 위한 인공증식장의 중요성

수산업 및 어촌사회는 여러 가지 문제에 당면해 있으며, 이에 대한 사회과학적인 진단 및 처방이 체계적으로 제시되어 왔다. 그러나, 그 처방을 실현하기 위한 하드웨어의 제공이 충분하지 못하였고, 이를 위한 수산 개발 및 관리기

술 체계의 정립이 요구되고 있다. 여기서, 종래 제기된 문제점들을 재정리하고, 대책으로서 요구되는 수산업의 기반정비 방향을 정리한다.

2.1. 수산업 및 어촌의 문제와 대응방안

종래 제기되어 온 수산업 및 어촌이 안고 있는 문제점들을 정리해 보면 표 1과 같이 요약할 수 있다. 표 1에 열거한 수산업의 문제점은 1) 어장과 관련한 어획어업 및 양식업의 한계성으로서 어장감소, 환경오염 악화, 남획에 의한 자원 감소, 밀식에 의한 생산성 저하, 자가오염, 해양오염사고 및 적조 피해, 2) 어장 및 어항과 관련한 노동집약형 산업의 한계성으로서 힘든 노동, 해난 및 어로사고, 어업종사자의 감소와 노령화 및 연안역 사용의 한계성으로서 임해도시 및 공업단지, 해양레크레이션 공간에 대한 사회적 요청과 갈등, 3) 어항 및 어촌과 관련한 정주권의 한계성으로서 소득, 생활 및 교육문화의 낙후, 4) 기타 수산수입물의 증가 및 가격 경쟁력 저하 등으로 구분할 수 있다.

이러한 수산업 문제의 대응은 수산업의 기반인 어항, 어항 및 어촌의 합리적인 정비 및 개발로 부터 시작될 수 있을 것이며, 이를 어장-어항-어촌의 상관이 높은 항목별로 구분하여 고찰해보면 다음과 같다. 1) 어장은 ①수산자원의 지속가능한 이용을 위한 생태환경 복구, 개선 및 창조, ②우량자원의 인공적 생산 및 첨가, ③해역정온화에 의한 외양형 양식장의 개발, ④외양·심해양식을 위한 양식기술 및 양식시설 개발, ⑤해양오염의 모니터링·예보 시스템의 정립 및 긴급방제·보호기술 정립 등이 요구된다. 2) 어장·어항은 ①수산활동의 기계화·자동화를 통한 생력화 및 안전화와 ②연안공간의 고도이용을 위한 어장·어항 및 수산활동 자체를 해양교육, 관광, 레크레이션 기반으로 활용이 고려되어야 한다. 3) 어항·어촌은 ①생활· 교육·문화 환경의 정비 및 소득향상에 의한 정주권 형성과 ②소비자의 수요에 대응하는 생산, 가공(저장), 유통시스템의 정립 등이 뒷받침되어야 한다.

표 1. 수산업과 어촌의 문제점 및 해결방안

구 분	문 제 점	해 결 방 안
어장환경	어장감소, 환경오염, 자가오염, 밀식, 해양오염사고 및 적조에 의한 생산성 저하	- 내만과 천해어장의 환경자정능력 복구 개선 - 해역정온화에 의한 외양형 증·양식장 개발 - 해양오염물질의 예보 및 긴급 방제·보호기술 정립
자원관리	남획 및 자원고갈	- 인공종묘의 생산 및 방류기술 정립 - 적정이용율을 고려한 어획 및 양식 관리 - 외양·심해 양식을 위한 양식기술 개발
노동환경	힘든 노동, 해난 및 안전사고, 어업종사자의 감소 및 노령화	- 어장·어항 수산활동의 생력화(기계화 및 자동화) - 수산활동의 안전화 및 편익 제공
정주환경	소득, 생활 및 교육문화의 낙후	- 생산기반 정비를 통한 소득향상 - 생활 및 교육문화 환경여건의 정비
공간사용	임해도시 및 공업단지, 해양레크레이션 공간의 요청 및 마찰	- 어장 및 어항의 해양레크레이션 기반 활용 - 어촌 및 수산활동의 해양교육, 관광 자원화
기 타	수산물의 수입증가와 가격경쟁력 저하	- 소비자 수요에 대응하는 생산-가공-유통 시스템 정립

2.2. 어장 및 어항을 기반으로 한 어촌 종합개발 개념

수산업 및 어촌의 활성화를 위한 방안에서 볼 수 있는 것처럼 어장·어항·어촌은 연계되어 상호작용을 하고 있으며, 특히 어장·어항으로부터 어촌으로의 파급효과가 큰 것을 알 수 있다. 따라서, 생산기반일 뿐아니라 생활·복지기반으로서 어장·어항·어촌의 기능을 평가하고, 파급효과를 고려하여 어장·어항을 정비할 필요가 있다. 즉, 어장정비는 어장의 풍요화, 안정화, 근접화를 통하여 수산활동의 계획화 및 안정화가 가능하며, 이로 인한 소득의 안정화로 생활의 여유 및 여가에 대한 활용기능이 생기고 어촌의 안정화에 기여하게 된다. 또한, 어항정비는 물량증가 및 수산물의 원활한 유통 및 신선도 유지를 통하여 소득증대와 지역의 편익도모 및 고정자산의 내실화로 어촌의 안정화에 기여하게 된다. 이러한 측면에서 어장·어항·어촌·종합개발은 어장과 어항의 기능과 파급효과를 고려한 정비를 기초로 하여 어촌의 안정화와 어촌정비를 통한 해양 레크레이션, 휴양, 교육, 문화 등의 산업적 접목을 통해 달성할 수 있을 것으로 생각된다.

이로부터, 활기찬 어촌을

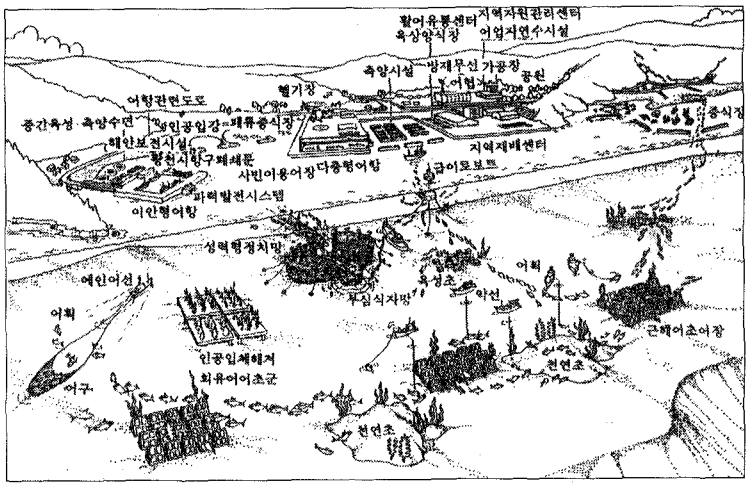


그림 1. 마리타임 빌리지 구상 개념도(東諄, 1985)

건설하기 위한 연안역 고도이용 및 개발구상이 고려될 수 있으며, 일본의 경우 마리노베이션 계획과 마리노폴리스(해양레저도시) 구상 등이 있다. 마리노베이션중 마리타임 빌리지 구상은 수산업을 중심으로 한 연안역 고도이용 및 개발개념으로서, 그림 1에 나타낸 것과 같이 재배어업 추진 및 생활환경 정비를 위한 어촌 종합개발이다. 이러한 개발구상의 실현을 위해서는 어장 어항 어촌의 효율적인 연계를 고려한 수산기반 정비와 이를 위한 요소기술 및 시설의 개발이 요구된다.

2.3. 어장 어항 어촌 종합개발을 위한 인공증식장 조성기술

어촌 활성화를 위한 생산기반과 생활기반으로서 중요한 어장 정비를 위한 인공증식장 조성은 그림 2에 나타낸 것과 같은 절차 및 방향으로 고려할 수 있다. 즉, 해양목장화 계획과 어항-어촌 종합개발 기본계획을 종합하여 어장 어항 어촌 종합개발 계획을 수립하고, 이를 위한 기반(사회자본)으로서 인공증식장 조성 및 기능 극대화를 고려한다. 인공증식장 조성을 위해서는 대상해역의 환경특성과 대상 생물의 생리 생태 특성을 고려하여 적정 인공어초를 개발하고, 그 기능이 극대화될 수 있도록 계통적인 시설 배치가 될 수 있도록 하여야 한다. 인공어초의 개발 및 배치 계획에 있어서는 대상 어류의 성장단계별 생리 생태적 요구에 부합하는 기능이 필요하다. 이러한 인공증식장은 자원조성에 의한 생산성 향상

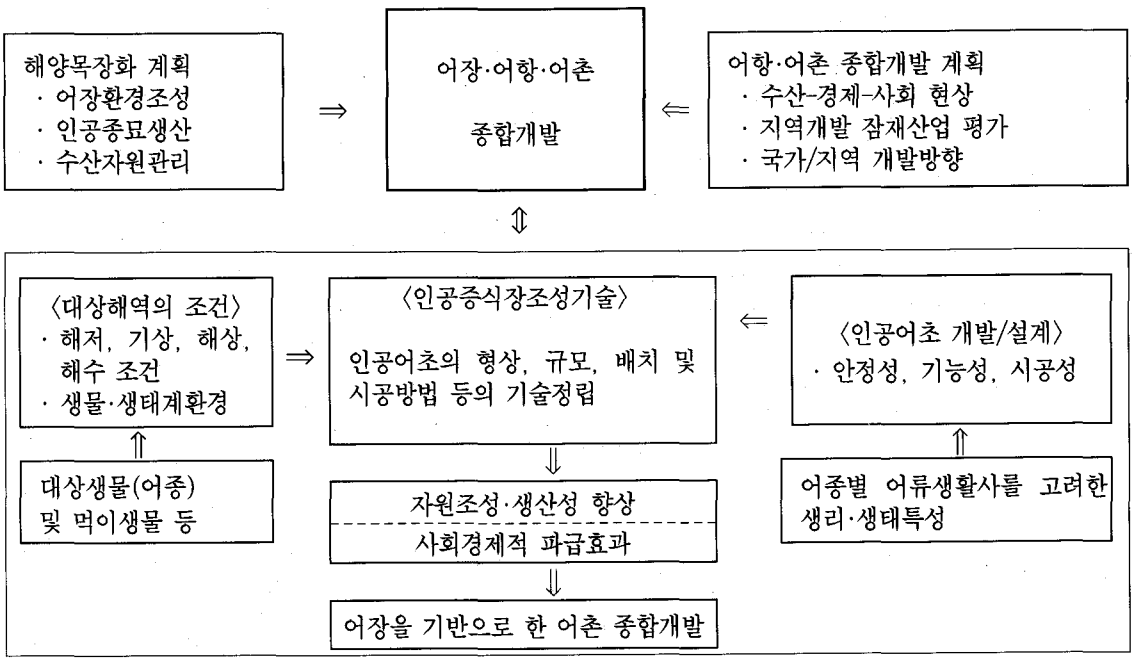


그림 2. 어장-어항-어촌 종합개발을 위한 인공증식장 기능 및 기술체계.

을 목표로 하여, 수산업 및 어촌에 대한 파급효과로서 어장 어항 어촌 종합개발이 이루어지도록 계획하여야 한다. 이는 적정 해양생태환경을 복구, 개선 및 창조하기위한 생태계제어구조물의 개발과 배치최적화를 기초로 한다.

3. 인공증식장 조성을 위한 인공어초 설계 및 배치

인공증식장 조성을 위한 인공어초 구조와 배치의 최적화는 어초 또는 어초군에 대한 어군의 행동 특성을 기초로 ′어떤 적정 생태환경조성을 중심으로 한 구조나 배치를 고려할 것인가′하는 문제로 집약될 수 있다. 즉, 인공어초는 어초의 설치를 인지하게 하는 1차적인 자극과 체류를 유도하는 2차적인 자극에 대응할 수 있도록 설계되어야 하며, 어종 및 성장단계에 따라 변화하는 적정환경(자극)에 대응할 수 있는 계통적인 배치설계가 필요하다.

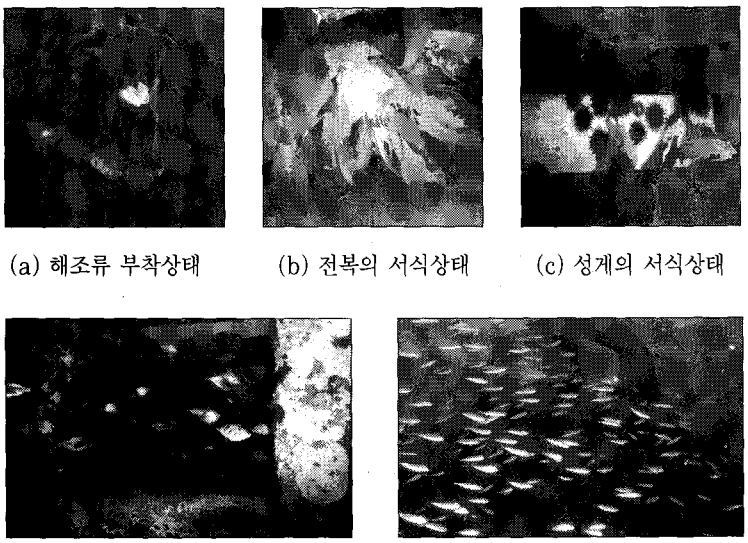
3.1. 인공어초의 어초성 및 증식장 조성 기능

어패류는 1)수온, 염분, 유동, 파랑 및 수질 등의 이화학적 환경요인과 2)먹이생물, 천적생물(도피) 등의 생물학적인 환경요인, 3)섭이, 생식 등의 생리적인 요인, 4)성장단계에 따른 생활상의 변화 즉, 정착 생활, 담수(기수)-해수 또는 심해-천해 왕복, 회유 등의 생태적인 특성을 가진 것으로 알려져 있다. 인공어초에 대한 어패류의 반응도 이와 밀접하여 선천적인 주성과 반사에 의한 광주성, 화학주성, 흐름주성, 접촉주성, 음주성 등과 후천적인 조건반사 및 섭이, 생식, 도피 등의 본능으로 정리 될 수 있다.

인공어초를 이용한 인공증식장 조성은 어초 주변에 있어서의 생물의 행동 특성 및 제어에 대한 단위기능으로 살펴

볼 수 있으며, 이들 기능이 복합적으로 작용하여 증식장 조성을 위한 기능으로 발휘되는 것으로 설명할 수 있다. 인공증식장 조성에 대한 인공어초의 기능은 다음과 같이 설명할 수 있으며, 몇가지 조사예를 그림 3에 나타내었다.

① 인공어초에 부착란을 어초의 부착시키거나 난 및 치자어가 어초 내부나 주위 완류역에 안전하게 체류하게 한다. (산란장 기능). ② 어초 설치에 따른 해양물리환경의 변화는 플랑크톤의 어초 주위 유입과 체류를 촉진하고, 저질환경을 변화시킨다. 따라서, 어초에 많은 부착생물이 착생하고, 그 간극에 환형동물이 증대하는 등 어초 주변의 생물량은 설치전보다 증대하게 되며, 이로 부터 먹이연쇄를 통한 소형 및 대형어 등의 에너지 수지가 나타나며, 이로 부터 어초의 먹이장 기능을 평가할 수 있다 (먹이장 기능). ③ 어초를 배경으로 도피장 개념은 먹이장 개념과 상반되는 기능이지만 어초의 간극을 통한 도피는 최소한의 자원보호를 위해 필요하다(도피장 기능). ④ 실험이나 관찰을 통해 유속이 증대되면 어초 후방의 완류역을 중심으로 한 어군의 분포가 보고되고 있으며, 야간에 어초내부에서 수면을 취하는 어류도 있음이 보고되고 있어 어초는 수면 및 휴식처를 제공한다(휴식장 기능). ⑤ 생태환경이 열악한 곳의 생물은 색이 및 섭이, 도피, 휴식 등을 위한 운동량이 많아 에너지의 소모가 크고 스트레스도 많이 받아 성육이 불리하며, 어초 주변은 양호한 먹이장, 도피 및 휴식장을 제공하므로 양호한 성육을 도와준다(성육장 기능).



(a) 해조류 부착상태 (b) 전복의 서식상태 (c) 성게의 서식상태

(d) 사각어초에 모여 든 어군 (e) 원관어초에 모여든 어군

그림 3. 해양생물의 어초에 대한 유집.

3.2. 인공어초에 대한 어류 행동 특성을 고려한 설계

어군이 어초에 모이기 위해서는 어초가 설치된 해역에 어군이 내유해오는 것이 필요하지만 어군의 이동 및 회유는 환경요인이나 생리적인 요인에 좌우되므로 특정해역에의 내유는 어초 존재 이전의 문제이다. 어군은 수온, 염분, 수괴의 운동 혹은 성숙 등의 많은 요인에 의해 남북회유, 심천 회유, 해수-담수 이동 등을 통해 해역에 내유하거나 이탈해 가게 된다. 따라서, 어초와 생물의 관계를 중심으로 환경, 어종 및 성장단계에 따라 변화하는 어초기능의 이용형태에 대응한 검토가 필요하다. 해역에 내유한 어군이 어초를 감지하게 되는 거리에 도달하게 되었을 때, 어초에 의한 자극이 어류의 청각, 후각, 시각, 미각, 촉각 등으로 감지된다. 어초 주위에는 어초에 의해 발생하는 진동음, 위집된 생물에서 발생되는 포식음, 신호음 등

많은 음이 발생된다. 그러한 진동은 수중에서 1.5km/sec의 속도로 전방향으로 구면 확산하며, 생물의 청각기관(옆줄, 내이)을 자극하게 된다. 그 도달거리는 음원의 강도 및 주파수에 따라 달라지나 수백 m에 달하는 것으로 보고되고 있다. 黑木(1980)에 의하면 어류의 가청한계는 어류에 따라 상이하나 근역의 음원에 대해서는 10-200Hz, 원역의 음원에 대해서는 150-5000Hz 정도인 것으로 나타내었다. 어초에 의한 진동음을 이용한 어류의 유집을 위해서는 100-1000Hz 정도의 진동음이 발생하는 구조를 고려할 필요가 있음을 알 수 있다. 어초에 의해 형성된 용승류나 내부파는 어류의 청각, 촉각기관을 자극하고, 어초에 근접하게 되면 어초나 어초에 형성된 해조류, 먹이생물 등을 시각이나 촉각으로 인지하고 반응하게 된다. 어초에 착생한 부착생물, 위집한 다종의 생물에 의한 발향물질은 흐름과 함께 확산하고 하류방향으로 이송, 확산되어 생물의 후각이나 미각기관을 자극하게 된다. 이러한 자극의 도달거리를 고려하면 청각-후각-(미각)-시각-촉각의 순으로 감각기관에 작용하게 된다.

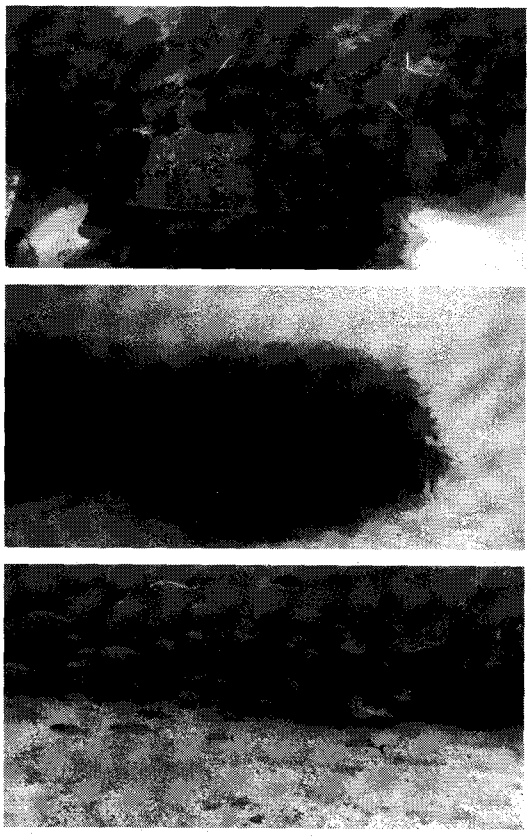


그림 4. 해중림 조성 및 집어과정(김·장, 1992).

인공어초의 구조와 배치의 최적화는 어류의 행동(반응) 특성을 고려한 방향이어야 하며, 이를 위해 1차적인 자극(어초의 설치를 인지하게 하는 자극; 청각, 시각, 촉각 등)과 2차적인 자극(어초의 대어패류 적정생태환경 조성에 의한 체류 자극; 산란, 섭이, 도피, 휴식 등)으로 고려할 수 있다. 이러한 자극-반응 특성에 따른 어군 유집의 한 예(김 장, 1992)를 그림 4에 나타내었다.

1차적인 자극에 대한 인공어초의 설계관점은 어초의 1) 구조 및 재료적 특성(형상, 크기, 색, 표면 조도 등), 2) 후류 규모, 3) 수중음, 4) 음영 등의 적합화라 할 수 있다. 여기서, 어초에 의한 음파발생은 어초 배후의 와동 생성 및 거동과 밀접하며 이를 최적화하는 구조 및 규모가 필요하다. 이는 어초의 형상 및 크기에 밀접하며, 복잡한 형상일수록 탁월주파수가 많아지는 것을 주목할 필요가 있다. 어류별 민감주파수대는 상이하나 대다수의 어류가 100-1000Hz의 수중음에 민감한 것을 고려하면 이 주파수대의 다양하고 강한 음파가 발생할 수 있는 복잡한 구조가 고려되어야 한다. 한편, 어초의 재료적 특성에 대해서는 강도의 측면 뿐 아니라 부착생물 및 부착란의 착생 촉진의 관점에서 적절한 재료적 특성과 표면 조도 등을 고려할 필요가 있다. 또한, 해조류의 부착에 있어서는 평면보다는 곡면 구조에 착생이 빠르

다는 등의 조사 연구 결과도 중요한 인자이다. 음영은 어패류의 빛에 대한 반응 특성에 따라 달라지는 문제이나 양성 및 음성 주광성 생물을 고려할 경우 어초의 구조 또는 배치 방향을 고려하여 각각 또는 동시에 고려할 수 있도록 해야한다.

2차적인 자극에 대한 설계 인자화는 내유한 어류의 체류 자극을 위한 기능으로서 환경, 어종 및 성장단계에 따라 변화하는 어초기능의 이용형태에 대응할 수 있도록 검토하여야 한다. 이를 위해 1)어초를 부착기질이나 도피장으로 이용하는 어종에 대해서는 이에 맞는 재료적, 구조적 특성을 가진 어초, 2)먹이생물을 대상으로 하는 종류에 대해서는 먹이생물이 어초 주변에 모이게 하는 구조, 3)이들 두기능을 동시에 요구하는 종에 대해서는 두 기능의 복합어초가 필요하다. 이들 개념은 상반되는 면도 있지만, 생물은 이러한 특성을 동시에 가지므로 적절한 조화가 필요하다. 1)을 위해서는 전술한 것처럼 부착이 용이한 어초 재료, 면 구조 및 조도가 필요하고, 어초의 구조적 특성이 치자어 및 소형어의 도피가 용이한 구조(다양한 크기의 공극 및 개폐구조)로 고려할 필요가 있다. 2)를 위해서는 어초 주변에 완류역이 조성되며 어초 내외의 해수교환이 좋은 구조 및 배치가 필요하며, 저질의 개량을 통한 저서생물환경의 조장, 용승을 통한 영양염이 풍부한 저층수의 상층공급 구조 등을 대상해역의 환경 특성 및 대상어 생리생태특성 등을 고려하여 어초의 구조 및 배치설계를 최적화할 필요가 있다. 또한, 이러한 인자를 상호보완적으로 만족시키는 구조 및 배치를 통해 어초주위 또는 해역의 생물학적인 균형이 유지되고 안정된 생태계가 조성되어 생물학적인 복원력이 유지되는 범위내에서 생물 상호간 에너지의 수수를 통해 안정적인 생산성의 제고가 도모되는 인공증식장 설계기술이 필요하다.

3.3. 어류생활사에 따른 생태특성을 고려한 설계

어초에 대한 어류의 반응은 다양하지만 생활사의 일부 또는 전부가 임의 생태환경을 조성하는 자연 또는 인공어초, 해조림 등과 같은 수중 물체와 밀접한 관계를 가지는 것으로 알려지고 있다.어류의 대어초 반응은 성장단계에 따라 달라지기도 하며, 특정한 구조가 요구되기도 한다. 종래 인공어초어장 조성사업은 일정한 어초를 적지에 투입하여 서식환경을 조성해왔으나, 보다 적극적인 자원의 보호 배양을 위해서는 대상종의 생활사 또는 대상종간의 생태적 특성을 유기적으로 연계하는 배치 시스템이 필요한 것으로 고려된다. 이를 위해서는 주요 대상어류를 생태적 특성의 분류와 이를 연계한 종합배치 시스템의 정립이 필요하다.

어류는 어종에 따라 생활사 및 서식환경이 다르기도 하고, 능동적 또는 수동적으로 적합화해 가는 과정을 보이나 생활사적 이동거리를 고려하면 정착형, 왕복형, 회유형으로 대분할 수 있다.

정착형은 일정해역 내에서 생활사의 거의 전부를 보내는 종이고, 왕복형은 인접한 또는 가까운 거리의 특정해역을 왕복하는 종이며, 회유형은 비교적 먼거리를 회유하는 어종으로 구분하였다. 이러한 기준을 기초로 한 주요 어종형과 그 생태적 특성의 예를 표 2에 나타내었고, 차후 각종 어패류의 생태생리 특성을 고려한 인공어초의 설계인자화를 위한 정리가 필요하다. 이러한 정착형, 왕복형, 회유형 대상어의 유인 및 체류 자극은 어종 및 성장단계에 따라 변화하므로 대상어종간 공동 및 교번 이용 등을 고려한 배치시스템이 정립되어야 한다.

표 2. 주요 어종의 생태적 분류 및 특성 정리의 예

구 분	대 상 종	산 란	부 유 란	부유유생	자 어	치 어	성 어	비 고
정착형	참돔	5-7월 20-80m	분리 부성란	부화후 20일	부화20일 후 10-40m 모래사장	부화후 20일부터	30-150mm 암반, 모래, 자갈 해역	기선 저인망 자망
	넙치	5월경 20-50m 사니, 암초	분리 부성란		부화후 35일간	저서생활 시작 사니질	저서생활 사니질	정치망 자망 낚시
	조피볼락	5-6월경 자어출산			출산후 2-3주후 성어모양	70일이후	서남해안 천해역 암초 사이	
	자주복	3-5월경 20m정도 모래사장	점착성 침성란	부화후 7일	부화후 30일			
왕복형	숭어	12월경 바다산란				3-4월에 내만유입	내만/기수 구역에 서식	
회유형	방어	2-3월경 동지나해 중남부				4-6월북상 부유해조 음영	초하 연안 접근, 북상 가을 남하	정치망

4. 인공증식장 조성을 위한 인공어초의 개발 및 배치시스템

적정 생태환경 조성을 위한 시설공학적 전개를 위해서는 안정성 및 기능 극대화를 위한 단위시설의 개발, 배치 및 관리기법의 정립이 필요하다. 여기서는 인공어초어장의 조성 및 관리방안을 정리하고, 이를 위한 성장단계별 적정 생태환경을 고려한 인공어초 배치시스템의 정립과 단위어초 개발에 대한 전개방향에 대해 고찰한다.

4.1. 인공어초어장 조성 및 관리

어촌종합개발의 기반으로서 인공증식장(어초어장)의 조성과 관리를 위해서는 적정규모의 결정, 대상생물의 생태환경을 고려한 배치설계, 인공종묘 생산 및 방류를 고려한 자원조성 및 관리 등이 필요하며, 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 해역특성 및 대상어종을 고려한 인공어초 군락의 규모 및 배치 결정.

2) 어초 군락의 구조의 어장론적인 연구검토.

3) 성장단계에 적합한 생태환경 조성을 위한 기능어초의 개발 및 배치시스템.

4) 어류, 해조류와 패류의 종묘 방류 및 생잔율 제고를 위한 중간육성 및 방류기술 정립.

5) 수산자원량의 추정 및 재생산을 고려한 적정 이용량의 평가 및 보호기법 정립.

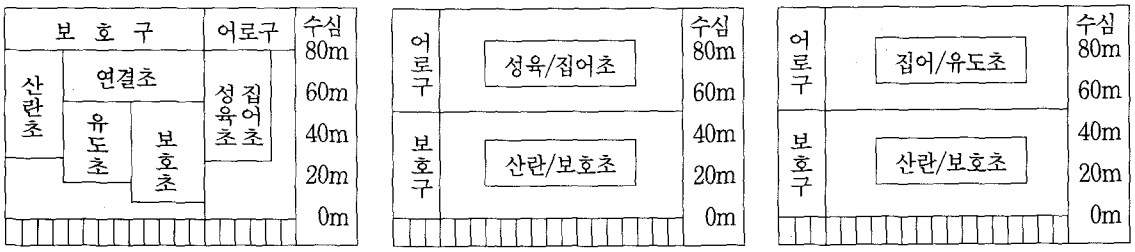
6) 해적생물 구제, 불법어로 금지, 오염원 제거, 산란기 조업규제, 자원보호형 어구어법 개발.

4.2. 인공어초 배치시스템과 단위어초 기능

어패류의 성장단계에 따른 적정생태환경의 조성 및 이를 효율적으로 연계시킬수 있는 배치설계가 요구되고 있다. 그러나, 모든 어종을 대상으로 하는 것은 쉽지 않으므로, 어류생활사의 패턴 및 생리생태

특성을 몇가지로 분류하여 체계화하는 방안을 생각할 수 있다. 표 2의 분류와 같은 정착형, 왕복형, 회유형 대상어종의 성장단계별 특성을 고려한 어초의 배치 시스템을 상정하여 기초적인 배치방안을 구성하여 보았다.

대부분의 정착형 어류는 유치어 시절을 천해역의 해조림, 인공어초장, 암초대, 양식시설 부근과 같은 조장이나 흐름조에서 보내게 되며 성장에 따라 생활장이 깊은 곳으로 이동하는 경향을 보이며, 미성어 및 성어는 주로 30-60m의 수심역에서 생활하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 난이나 유생이 이러한 곳에 산란되거나 유입될 수 있도록 고려하는 것이 중요하며, 이 생활역을 어획 또는 포식어의 식해로 부터 보호될 수 있도록 하는 배려가 필요하다. 이를 위해서는 관리형 어업에 의한 보호수면의 설정이나 포식어로 부터 피할 수 있는 구조의 보호형 어초 시설 등이 필요하다. 또한 미성어 및 성어가 서식하는 수심역에서는 효율적인 어로활동과 어획량증대를 위한 어획전문형과 친어 보호를 위한 보호형을 적절히 고려해야 할 필요가 있다. 또한, 난 또는 유생이 보호 성육장으로 유입되게 하기 위한 유동 제어 구조로서의 유도초 배치를 고려할 필요가 있다. 이러한 생활사를 고려한 어초 배치 시스템을 기본으로 하여, 왕복형의 경우와 회유형의 경우도 적절히 조정하여 시설할 수 있으며 회유형의 경우



1)정착형 2)왕복형 3)회유형

그림 5. 대상어종의 생태특성별 어초 배치시스템(안).

표 3. 단위기능 어초의 고려사항

구 분	고 려 사 항 (기 능)	비 고
산 란 초	- 대상 해역에서의 산란 친어의 적정량 확보 및 보호, 정착 유도 - 건전란의 산란 유발 증대, 수정율의 향상 등을 도모 - 20~80m 수심역의 자연초와 유사한 어초군으로 형성	
보 호 초	- 천해역에서의 부유 유생의 효과적인 착저 - 치자어의 생육성장 및 식해어로 부터의 보호 - 10~40m 수심역의 해조장(해중림) 및 모래질장 연계 형성 - 주유향, 파향을 고려하여 산란장과 유기적 연계	
성 육 초	- 유어의 성육 과정중 해적동물로 부터의 보호 - 섭이 활동기의 성육 조장 및 사료 생물 증가 도모 - 수심 20~80m에 유어 성육환경으로 필요한 암초역(사장) 연계조성	
연 결 초	- 부유 유생의 적정 수역으로의 유동 보장 - 성어의 산란장으로의 유도에 의한 어초 기능 시스템의 연계 기능 - 산란친어의 최소량 확보를 위한 연계 시스템 - 산란초와 육성초를 연결하는 소규모 다수 어초군 형성	감지거리 고려
집 어 초	- 집어 기능에 의한 효율적인 어자원 관리 - 어획의 효율성 제고를 위한 일정해역에의 어류 위집	어구어법 고려

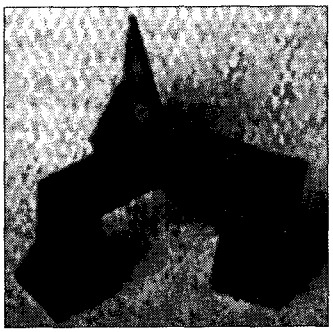
대상 해역이 회유형 어류의 어떤 생활사 단계인지를 고려하여, 치어 유도초 및 산란, 보호초를 시설하거나 회유어를 유집시켜 어획하는 배치를 생각할 수 있을 것이다. 이로 부터 대상어종의 생태형별 어초 배치 방안을 그림 5에 예시하고, 단위기능 어초의 고려사항을 표3에 나타내었다.

4.3. 인공증식장 조성을 고려한 기능어초 개발방향

인공어초는 다양하게 고안 및 개발되어 왔으며, '95년까지 22개의 실용신안 특허품과 97개의 의장특허품이 개발되어 있다(수산진흥원, 1995). 한편, 현장에서 주로 시설되고 있는 것은 인공어초는 15종으로 '71년부터 '95년까지 2,092억원이 투입되어 100,099ha의 인공어초어장이 조성되어 있다. 그 내용을 보면 사각어초가 전체의 82%를 점유하고 있으며, 점보형어초, 반구형어초의 순으로 시설되어 있다. '94년 이후로는 사각, 원통형, 반구형, 점보형, 요철형, 육교형 및 뿔삼각어초가 시설되고 있으며, 고선어초를 제외한 대부분이 철근콘크리트로 제작되어진 것이다.

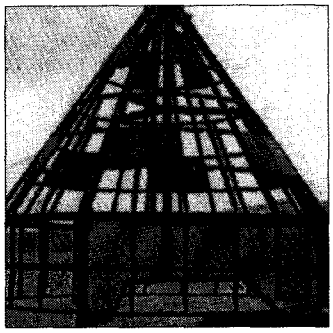
전술한 어류생활사를 고려한 인공증식장 조성시스템을 위해서는 단위기능를 발휘할 수 있는 다양한 인공어초의 개발이 필요하다. 표 3에 나타낸 것과 같은 요구기능이 만족되어야 하며, 기본적으로는 1) 대상어류의 포식자로 부터 용이하게 도피할수 있도록 복잡한 구조와 충분한 내부공간을 가질 것, 2) 해조류 부착을 위한 착생기질이 많고 좋아야 하며, 적합한 표면 구조를 가질 것, 3) 시간경과에 따른 재료의 약화, 독성 유출 등이 없을 것, 4) 현지해역의 특성상 안정성, 기능성, 시공성이 우수할 것, 5) 부재의 조립에 의한 시공의 현장성, 제작성이 우수할 것 등이 고려되어야 한다. 이러한 개념을 기초로 다양한 인공어초가 개발되어야 하며, 재료면에서 본 인공어초의 예를 그림 6에 나타내었다(수산청, 1993). 최근에는 인공어초의 기능 향상을 위하여 먹이공급장치나 자석을 부착하기도 하며, 해조류의 포자를 부착시키거나 이식하여 시설하는 방법도 제안되고 있다. 또한, 해양 공간이용 및 방재구조물의 일부를 인공어초로서 시설하거나, 어항 및 해양

(a) 폐타이어어초



(b) 철근콘크리트어초

(c) 폐관조립어초



(d) 강제어초(MK)

그림 6. 각종 소재를 이용한 인공어초

구조물의 설계시 어초기능을 고려하는 방향으로의 전개가 검토되어야 할 것이다.

5. 결언

수산업 및 어촌의 당면 문제들을 정리하고, 어장-어항-어촌의 관점으로 구분하여 대응방안을 정리하였다. 이로부터 어촌의 활성화를 위한 어장 어항 어촌의 종합개발개념을 정립하고, 그 실현을 위한 기반으로서 어장 어항 정비가 요망된다. 특히, 생활 및 복지기반의 근간이 될 수 있는 생산기반의 정비로서 인공증식장 조성은 중요하며, 그 파급효과는 어촌의 안정화에 크게 기여할 것이다. 인공증식장 조성기술체계의 정립을 위해서는 생태환경제어공학적 접근과 이를 응용한 적정 생태환경 복구, 개선 및 창조기술 개발이 필요하다. 이는 해양오염과 난개발에 따른 해양생태환경의 파괴 및 황폐화로 부터 수산자원의 보호 및 조성을 통한 지속가능한 해양생물자원의 이용보전을 위해서 뿐만 아니라 쾌적한 환경에서 삶을 영위하기 위한 해양환경관리의 기초가 될 것이다.

인공증식장 조성은 자원관리형 재배어업을 통한 연안정주권 형성과 수산물의 안정적 공급을 위한 주요 기반으로서, 우리나라에서는 인공어초어장 조성사업으로 추진되고 있다. 보다 효율적인 인공어초어장 조성을 위해서는 해역 또는 권역별 특성화된 해양생물자원을 대상으로 성장단계별 적정 생태환경을 제공할 수 있는 기능어초의 개발과 계통적인 배치시스템의 정립이 필요하다. 즉, 인공어초에 대한 어군행동을 성장단계에 따라 설계인자화하고, 이를 구체화할 수 있는 구조와 배치의 최적화를 창출하여야 한다. 이를 위한 기초적 검토로서 단위어초의 개발 및 설계를 위한 어류의 인지자극(청각, 시각, 촉각 등)과 체류자극(산란, 섭이, 도피, 휴식 등)을 고려한 인공어초 개발 또는 설계방향을 논의하였으며, 어종 및 성장단계에 따른 적정생태환경의 조성을 위한 인공어초배치시스템 방안을 예시해 보았다. 이를 적용한 활발한 인공어초의 개발과 인공증식장 조성기술의 정립은 어장 어항 어촌의 종합개발을 위한 기반으로 활용되어야 할 것이다.

참고문헌

1) 국립수산진흥원(1992): 한국연안 인공어초의 자원조성효과에 관한 연구. 국립수산진흥원사업보고 95호, 89p.
2) 김대안, 장대수 (1992): 인공어초를 이용한 해중림조성. 수진연구보고 46, 7-19.
3) 柳青魯, 張善德, 林琦琫 (1986): 人工魚礁의 配置에 關한 硏究. 水振硏究報, 1-24.
4) 수산청(1993): 해양목장화를 위한 적정어초 및 설계기술 개발. 276p.
5) 수산청(1995): 인공어초시설실적('71-'95). 135p.
6) 木市元晧(1993): 人工魚礁による魚群行動制御, 水産工學, 30(1), 59-68.
7) 能津純治 (1985): 大分縣におけるマリノポリスの建設. 水産工學, 22(1), 61-65.
8) 東諄 (1985): マリノベーション構想. 水産工學, 22(1), 61-65.
9) Ryu, C.R. and H.J. Kim(1995): A design concept of artificial habitat considering the function of wave control and coastal defence. Proc. of Int. Symp. on Coastal Ocean Space Utilization, 347-356.