

# 인공어초에 의한 바다 목장화 조성 기술

김 창 길 / 국립수산진흥원 수산연구관



인공어초에 의한 어류용 어초어장 조성은 해역에 따라 약간 다르지만, 서식환경정비, 유용어류 정착촉진, 어장 및 자원관리 등 크게 3분야로 구성된다. 서식환경 정비사업은 동 해역이 갖고 있는 생산력을 활용하여 유·치어로부터 성어, 친어까지 전생활사를 통해서 동 해역에서 서식할 수 있도록 어종별 성장 단계별 적합한 서식장을 인공어초 혹은 조장조성을 통하여 정비하는 것이다.

우리나라의 수산자원 조성사업은 패조류를 대상으로 하는 연안용 어초, 어류를 대상으로 하는 어류용 어초 등 인공어초 시설사업, 준설이나 해수교환 등과 같이 어장의 기능을 개선 또는 회복시키는 어장개량사업, 패류나 어류의 종묘를 일정 수역에 방류하는 수산종묘 방류 사업으로 나눌 수 있다. 그 외에도 해역마다의 특성을 살려 여러 가지 형태로 사업의 추진되고 있다. 예를 들면 바다목장화 사업 등이다.

바다목장화 사업은 사업형태에 따라 여러 가지로 설명될 수 있지만, 주로 재배어업이 농작물의 재배를 이미지화 하여 수산자원을 인위적으로 육성하고 이것을 어획하는데 대하여, 목축업을 이미지화 하여 자연환경 속에 방생한 후 필요할 때 어획을 하는 어업형태를 말한다.

바다목장화 사업은 양식과 같이 좁은 울타리 속에서 기르는 것이 아니고 넓은 수역에 종묘를 방류한 후 필요할 때 어획을 하는 어업형태를 말한다. 즉, 바다목장화 사업은 양식과 같이 좁은 울타리 속에서 기르는 것이 아니고 넓은 수역에 종묘를 방류하여 자연의 생산력을 이용하여 성육시킴과 동시에 자연산 어류에 대해서도 먹이를 주어 길들이는 것이다.

바다목장화 사업은 우리나라의 경우, 현재 통영해역에서 수행되고 있으며 금후 각 해역으로 확대될 예정이다. 규모면에서도 바다목장화 사업은 막대한 예산이 소요되며, 여러 분야의 기술이 집약되어 수행되고 있다. 다음은 바다목장화 조성방법 및 필요한 기술체계를 알아보고, 인공어초에 의한 어장조성 기술에 대해서만 논하고자 한다.

## 바다목장화 조성방법

바다목장화의 조성목적은 바다의 생산력을 충분히 이용하고 더 나아가 그 생산기구를 재정비하여 어장을 종합적으로 관리함으로써 생산의 효율화를 도모하고 대상종의 생산력을 향상시키는 것이다. 따라서 대상종의 생산력을 유지하고 확대하기 위한 방법으로는 어업자원의 관리, 양식, 인공어초 시설 및 방류에 의한 어업자원의 배양을 들 수 있다.

어업자원의 관리는 해양에 있어서 생물의 생산력이 한정되어 있다는 관점에서 그 자원과 생산체계를 고려하여 어획효율을 최대로 유지하려는 수단이다. 이를 위해 어구와 어기, 어구와 어법, 어획 대상종, 어획의 크기, 어선수, 어업자 수 등에 대해서 각종 규제협정을 설정하여 수산물의 안정적 재생산을 도모하는 방법이다. 하지만 이 방법으로는 어업자원의 경우 주인이 불명확하다는 사실 때문에 그의 관리책임을 사회규범에 의존하게 되고, 생산증대에 노력하면 할수록 어획노력을 스스로 자제 또는 제한 해야하는 문제점을 안고 있다.

양식은 구획된 수역을 점유하여 특정 어종을 육성하고 수

확단계까지 인위적으로 관리하는 생산방법이다. 이 방법은 부가가치가 높은 생물, 즉 중·고급 어패류에 집중되어지고 있는 것이 특징이다. 그러나, 양식도 자연의 생태계로부터 독립된 것이 아니기 때문에 문제점이 많다. 예를 들면 내만의 파도가 적은 곳에서는 자연상태에서의 생산력보다 훨씬 높은 생산력을 갖는 양식이 행하여지는 예도 적지않다. 그러나 특히 어류양식의 경우, 어류의 배설물과 미처 이용되지 못하고 남은 먹이생물에 의한 수질오염이 상당히 위험수준에 이르는 곳도 있다. 또한, 최근에는 일부 어종에서 생산의 과잉현상이 나타나고 있는 실정이다. 따라서 양식에 의한 자원증강을 도모함에 있어서도 다양한 종의 생산과 탄력적인 수확시기를 조절하여 경제성을 최대화할 수 있는 종을 선택할 필요가 있으며, 해역전체의 생산력을 증대시키는 방향으로 추구해야 할 것이다.

인공어초 및 방류에 의한 어업자원 배양은 인공어초를 시설하여 자원의 남획을 방지함은 물론 대상생물의 서식환경을 개선하여 생산력을 높여 주거나, 종묘를 인공적으로 생산하여 방류(첨가)해 줌으로써 자원을 증강시키는 방법이라

할 수 있다. 인공어초에 의한 자원배양 방법은 생물적인 측면에서는 방류보다 소극적인 방법이라고 할 수 있으나, 인간의 측면에서 보면 인공어초 시설이나 방류 모두 적극적인 자원 배양의 수단이라고 할 수 있다. 따라서 인공어초나 방류에 의한 자원배양방법은 바다목장화의 중요한 방법 중의 하나라고 할 수 있다.

그러나 방류에 의한 자원배양방법은 방류 후의 행동, 생태 등의 파악이 어렵고, 특히 효과적인 수확에 대한 기술이 확립되어 있지 않다. 또한 방류의 종묘 생산자와 수확자가 각기 다른 경우가 많고, 현행 어업구조 하에 있어서도 투자채산을 평가하기가 어려운 것이 특징이다. 따라서 방류로부터 수확까지 일관된 사회적 체계를 목표로 하여 해적구제와 초기감모 등의 수단을 강화해야 할 것이다. 초기감모와 관련해서는 인공어초 등을 시설하여 대상 종의 성장단계에 적합한 서식장을 조성해 줌으로써 어느 정도 줄일 수 있다고 생각된다.

## 바다목장화 조성에 필요한 기술체계

바다목장화를 추구하기 위한

기술로는 기초생산의 제어, 즉 영양염류 등의 잠재자원의 이용, 인공어초나 종묘투입에 의한 자원보강 및 양식 등에 의한 자원집중 및 첨가이용, 해역내에서의 어획행동의 제어 즉 프랑크톤 등 먹이사슬 제어 등 크게 3개 분야로 이루어진다고 할 수 있다.

영양염류 등 잠재자원의 이용(기초생산의 제어)은 생물생산의 원동력으로 되는 먹이생물로서 에너지는 본질적으로 식물에 의존하고 있으나, 그들의 기초생산의 제어를 공학적 관점으로부터 생각하면, 식물생산의 기본적 영양원인 영양염의 공급시스템을 식물의 증식과 어떻게 조화를 이루어 나 아갈까에 의해서 그 해역의 생물 수용력을 증강할 수 있다고 할 수 있다. 해수에 녹아있는 영양염류의 대부분은 해저부근 혹은 저질에 많다. 이들은 해조, 프랑크톤 및 박테리아의 동화작용에 의해 유기물로 합성된다.

따라서 영양염류의 공학적 제어를 생각할 때, 이와 같은 광합성을 행하는 식물, 미생물, 광의 존재 등을 파악할 필요가 있다. 이와 함께 적조와 같이 생물환경의 균형을 깨뜨리는 일이 없도록 하고, 기초생산을 증강하는 환경요인 중

에 어떠한 부족 부분이 있는가를 잘 파악하여 부족분을 잘 활용할 수 있도록 해야 한다. 영양염류 등 잠재자원 이용에 관한 공학적 방법은 당면한 부족요인을 어떻게 개선해 주느냐에 초점을 두고 실시되어야 한다. 이와같은 방법으로는 광(光)이 약한 심층역에 광을 조사(照射)하여 광합성을 촉진하는 광 이용시스템, 영양염의 농도가 높은 육수나 저층수를 영양염이 부족한 해역에 공급하는 영양염 공급시스템 등을 들 수 있다.

자원의 집중 및 첨가이용에는 인공어초 및 종묘방류(첨가)에 의한 자원보강과 양식을 들 수 있다. 인공어초 및 종묘방류에 의한 자원보강은 대상해역에서 유용수산자원의 먹이생물 등의 환경 수용력이 낮다고 생각될 때, 인위적으로 인공어초를 시설하거나 종묘를 방류하여 그의 생산량을 확대하려고 하는 것이다.

방류의 경우, 해역에서의 대상생물이 점하고 있는 생태적 우위성을 가질 수 있는 환경에 종묘를 방류하여 목적으로 하는 대상종의 생산확대를 효율적으로 행하는 방법이다. 그러나 종묘 방류에 의한 자원배양 방법은 방류 후 감도가 일반적으로 크므로 방류 예정해역에

서 기존 종이 어떠한 과정에서 감모되어 가고 있는가를 사전에 조사해 둘 필요가 있다. 예를 들면 초기감모가 현저한 생물에는 감모기를 지난 생육단계에서 방류하게 되면 자원증대의 효과가 기대될 수 있을 것이다.

그러나 방류종묘의 감모만을 고려할 경우 감모가 상대적으로 적은 성장단계에서 방류하는 것이 효과적일겠지만, 일정 크기까지 성장시키는 데는 경제적인 면에서 큰 부담이 되지 않을 수 없다. 따라서 인공어초 등을 이용하여 대상종의 생태에 적합한 서식장을 조성해 줌으로써 가능하며, 인공어초에 의한 어장조성기술을 방류종묘 생산기술과 함께 접목시킴으로써 보다 효율적인 생산확대를 기할 수 있을 것이다.

양식은 인공어초나 종묘의 방류(투입첨가)에 의한 자원증강에 비하면, 훨씬 생산율이 높다. 즉 양식에 있어서 생산율이 높다는 것은 자연상태에서 서식할 경우보다 생산량이 훨씬 높다는 것이다. 예를 들면 해조양식의 경우 자연해역에서는 통상 조건대로부터 수십미터 정도의 수심대까지가 서식범위로 한정되어 있는데 반해, 연승, 로프 등의 착생기반을 주면 생산수역이 확대되

어 생산효율이 압도적으로 개선될 수가 있다.

양식에 있어서 먹이생물과 양식어와의 관계는 본질적으로 자연의 생태계 범주내에 있으며, 그것이 인공적으로 관리되고 있는데 불과하다. 그러나, 현재의 양식어장은 앞서 언급한 바와 같이 시설보존과 관리를 위해 파도 등이 조용한 내만에 밀집되어 있고, 응집한 먹이의 투여와 배설의 집중으로 인해 주변해역의 오염 또는 오염에 의한 병해와 품질의 저하 등이 문제로서 지적되고 있다. 그래서 양식을 주축으로 하여 이것을 생산확대 방법에 연결시키기 위해서는 대상종이 자연상태로 대량으로 서식할 수 있는 환경에서의 양식을 도입할 필요가 있다. 그러나 그와 같은 장소는 내만보다는 외해역이 적당하다고 할 수 있다. 따라서 시설의 내파성, 양성관리방법, 조업규모의 크기 등 외해양식을 가능하게 하기 위한 기술개발이 요구된다.

프랑크톤 등의 먹이사슬의 제어는 대상해역 내에 어느 한 종이 우점화되는 것을 막고, 영양단계가 낮은 프랑크톤 등의 생물에서 영양단계가 높은 어류에 이르기까지 생물의 생산력이 균형을 이룰 수

있도록 해야할 것이다. 예를 들면 대상해역에 있어서의 종의 생산력은 프랑크톤 등의 기초 생산량에 크게 의존하지만, 넙치나 가다랭이 등 영양단계가 높은 어류가 어획된다는 것은 영양단계가 상대적으로 낮은 어류에 있어서는 해적의 구제를 의미한다. 이와 같은 사고의 논리를 고려한 바다 목장화의 시스템 구성도 고려할 필요가 있다.

### 인공어초에 의한 바다목장화 조성 기술

여기에서는 조장(藻場)조성과 어류용 어초에 대해서만 기술한다. 조장은 암초성 생물의 서식장, 유치자어의 보육장을 제공하는 등 중요한 생태적 기

능을 갖는다. 특히, CO<sub>2</sub>의 고정과 P의 흡수 등 환경보존과 정화기능, Mitigation 등과 같은 생태계 회복기능은 중요하다 할 수 있다.

해조류를 조성하는데는 여러 가지 기술이 있겠지만, 무엇보다도 중요한 것은 해조장 조성사업이 수행되는 특정해역에 있어서는 광선, 부착기질, 해수의 이동(파랑, 모래이동 등), 조식(藻食)동물, 기질의 경합 등 국지적인 요인의 파악이 중요하며, 이들 조건을 개선함으로써 목적으로 하는 사업을 달성할 수 있다. 구체적으로는 광량(光量)을 확보하기 위한 해저로부터의 암반 조성 높이의 확대, 모래의 피복을 피하기 위한 해저 사질대의 개량, 파랑작용을 이용하여 성계



바다 목장화 전용 상자형 어초(3×3×3m)

등 조식(藻食)생물의 피해를 줄이기 위한 암반조성, 암반 등 생육기반의 확보를 위한 기반의 개량 등이다. 그러나 경우에 따라서는 해조류의 생육기반을 해저로부터 높이거나, 기존 기술을 응용하는 방법보다는 조장의 분포면적을 확대하는 방향에서 복수의 혹은 현실적으로 상호분리하기 어려운 제한요인의 조건을 완화함으로써 인위적인 관리가 필요없는 조장조성이 가능할 것이다.

따라서 조장이 분포하는 장소와 그렇지 않는 장소를 비교하여 해저지형, 저질분포, 광선, 파랑 및 표사 등의 물리적 환경을 중점적으로 조사하고 그들의 조건을 공학적 관점에서 개량하여 설계해야 할 것이다. 특히 장기적으로는 내만을 중심으로 한 투명도 회복 등의 수질개선에 대해서도 보다 적극적으로 대처할 필요가 있다. 조장조성 기술은 해역의 조건에 따라 다르지만, 생물학적인 방법의 경우, 조장조성은 예정지에 어떠한 종류의 상(相)이 적합할 것인가를 사전조사하여 정온수역을 핵(核)조장으로 선정하고 투입어초(블럭) 설치하는 사력질 등의 식해동물의 침해가 어려운 장소를 선정한다. 그리고 목적으로 하는 해조류를 조성한다.

이 과정에서 특히 중요한 것은 해역에 따라 차이는 있지만, 하절기에 어초(블럭)를 설치하면 무절산호 조류에 피복된 면은 다른 해조류가 부착하기 어렵게 된다. 만약 주변에 해조군락이 있으면 조류 등에 의해서 포자가 도달되지만 그렇지 않은 곳은 목적으로 하는 해조류를 이식하든지 망에 성숙된 모조를 담아 어초(블럭)에 묶어 두는 것도 좋은 방법이다.

인공어초에 의한 어류용 어초어장 조성은 해역에 따라 약간 다르지만, 서식환경정비, 유용어류 정착촉진, 어장 및 자원관리 등 크게 3분야로 구성된다. 서식환경 정비사업은 동 해역이 갖고 있는 생산력을 활용하여 유·치어로부터 성어, 친어까지 전생활사를 통해서 동 해역에서 서식할 수 있도록 어종별 성장 단계별 적합한 서식장을 인공어초 혹은 조장조성을 통하여 정비하는 것이다.

즉, 유용어류의 서식적지로서 대상 어종마다의 생태적 지위를 붕괴시키지 않고 생태계 자체를 확대시켜 나아가는 것이다. 기본적으로는 기존 혹은 새로 개발된 인공어초 (기와초, 상자형 어초 등), 자연초, 해조장을 활용하면서 대상어

종의 성장, 성숙, 산란 또는 계절의 변화에 따른 이동회유 등의 생태특성을 고려하여 어종별, 성장 단계별로 유치자어 보육장, 미성어 성육장, 성어 서식장, 친어 채류장 등의 해역을 설정하는 것이다.

대상어류가 전생활사를 통하여 서식할 수 있는 장소를 제 공함에 있어서 대상 어종마다의 서식장 규모의 확대, 기능의 강화뿐만 아니라 어종별, 성장단계별 연속성을 확보해야 한다. 각 어장의 어초시설 배치하는 대상 어종의 성장단계별 유영능력을 감안하여 유치자어 및 미성어는 조밀하게, 그리고 성장함에 따라 일정 간격을 두어 시설함이 바람직하다. 특히 해역에 따라서 유치자어의 서식적지가 적은 곳의 경우 와류나 난류의 발생지역 혹은 파도가 치지않는 잔잔한 정온수역에서 난치자어가 집적(모여드는)하는 해역, 조장이 연속되는 해역을 유치자어 보육장으로 정비하는 것도 좋은 방법 중의 하나이다. 어초 구조물로는 유치자어의 서식에 적합하도록 먹이발생이 용이하고 공간구조가 복잡한 기와초나 성어의 경우 면구조와 테구조가 적당히 혼합된 상자형 어초가 적합하다고 생각된다. ㉔