

# 어장환경과 생태계의 중요성

강 래 선 / 한국해양연구소 선임연구원



현재 수행되는 바다목장해역에서의 생태계 구조는 대단히 복잡하기 때문에 편의적으로 생태계를 부유생태계, 저서생태계, 그리고 암반생태계로 임의적인 구분을 하여, 각 단위 생태계 내에서의 먹이망 구조와 에너지 흐름을 파악하고 있다. 부유생태계에 대해서는 영양단계별 관계를 밝히며, 저서생태계는 섭식유형별 생체량 및 생산량과 에너지 수지를 알아보고, 암반생태계의 경우에도 일차생산자인 해조류부터 일차소비자까지의 관계를 밝히고 있다.

인류가 바다를 대상으로 해왔던 여러 행위들이 시간흐름에 따라 다양하게 변화·발전해 왔듯이 바다목장 또한 시대적 상황 또는 문화에 맞추어 그 성격이 변화해 왔다. 바다목장이란 용어가 처음으로 사용된 일본의 1990년 이전까지의 바다목장은 그 용어(sea farming)에서 볼 수 있듯이 주로 유용 생물자원의 증대에 치중했으며, 이를 위해 방류된 특정 종을 관리하고, 이들 종이 살아가는데 필요한 서식지를 만들어 주며, 그리고 다양한 종의 지속적인 방류와 이식작업들을 수행해왔다. 그러나 최근의 바다목장(marine ranching)은 그 목적에 있어 과거의 바다목장과 유사하나, 특정 해역을 대상으로 지금까지 개발된 제반 기술을 집합·적용한다는 점과 특히 대상해역의

환경과 생태계 특성을 고려하는 특징을 지니고 있다. 이는 수산업을 통한 국민 또는 국가적인 경제적 이윤추구도 중요하지만 최근 환경보전에 관한 마음가짐이 대단히 견고해졌기 때문이다.

특정해역을 대상으로 하는 바다목장은 그 성격이 지역에 따라 약간씩 달라질 수밖에 없으며, 이는 해역마다 저마다 고유한 생태계 구조를 지니고 있기 때문이다. 대개 생태계라 함은 특정해역의 생물집합체와 이를 둘러싼 환경으로 정의하고 있으며, 좁은 곳에서도 장소마다 물리·화학적 환경이 약간씩 다르기 때문에 여기에 반응하여 살아가는 생물집합체도 달라진다. 따라서 바다목장에서 사업의 첫 단계는 대상으로 삼는 해역에 어떤 종류의 생물이 어떤

환경 속에서 살고 있는가와 이들 생물과 환경과는 어떠한 관계를 갖는가를 정밀하게 파악하는 것이다. 이 작업을 통해 야만 첫째 목장화를 하고자 하는 대상생물의 선정, 공간의 효율적인 이용, 어초 투입에 적합한 수심과 시기의 결정, 효율적인 해중림의 조성과 그 기능유지, 그리고 생태계 친화적인 어류 방류 등에 필요한 기초자료를 수집할 수 있으며, 둘째 목장화를 수행함에 있어 필수적으로 수반되는 자원증대작업(어초투하, 해중림 조성, 어류방류 등) 시 수반되는 교란 정도를 가늠할 수 있고, 그리고 셋째 생물집합체의 시간적인 움직임에 관한 종합적인 이해와 생태계 모델 수립을 통해 향후 건강한 생태계의 지속적 관리를 위한 기초자료를

획득할 수 있다.

현재 수행되고 있는 통영바다목장해역의 생태계에 관한 연구는 생태계 특성의 분석 및 모델화에 집중하고 있으며, 이를 위한 연구내용은 표와 같다. 그리고 항목별 연구 특성은 아래와 같이 정리될 수 있다.

### 환경요인의 계절별 파악

생태계 연구를 위한 각 조사 항목은 그 나름대로의 중요성을 지니고 있다. 그러나 해양 생태계에서 물질순환은 생태계로 유입되는 또는 자체에서 생체분해 등으로 생성되는 질산염, 규산염 그리고 인산염 등의 주요 영양염과 각종 미량원소 등이 식물플랑크톤 또는 해조류 등의 기초생산자를 통

해 유기질 형태로 전환되면서 시작된다. 이와 같은 기초생산자의 생산력은 영양염 농도나 광조건, 수온 등에 의해 영향을 받으며 궁극적으로는 단위해역의 자원량에도 상당한 영향을 미치기 때문에 생태계연구에서 가장 기본적으로 조사되어야 할 분야이다.

특히 개방된 해역에서 영양염과 수온 및 물리적인 환경인자는 항시 역동적으로 변화하고 있으며 이에 따라 기초생산력이 변화할 가능성도 있어 효율적인 자원관리를 위해서는 이들 환경요인에 대한 장기적 관측을 실시해야만 한다. 최근 동해 연안의 수온변화에 따른 어자원의 변동은 이런 사실을 뒷받침하고 있고, 남해안에서도 지난 5년간 이러한 수온상승의 경향이 있어 바다목장해역에서의 생산력추정을 위한 기초요인인 영양염 변동은 장기적으로 관찰되어야 한다.

더욱이 육지와 인접된 연안은 산업활동의 증가에 따른 공장폐수나 농업에 사용된 비료나 화학물질 등의 유입에 인한 오염물질의 축적이 집중적으로 이루어지고 있으며, 또한 도시팽창에 따른 다량의 생활하수 유입, 그리고 적지만 양식장에서 배출되는 유기물로

통영바다목장해역의 생태계 연구의 항목별 조사내용

| 주요 항목                     | 조사 내용  |
|---------------------------|--|
| · 환경요인의 계절별 파악            | 염분, 용존산소, pH, 부유물질, 투명도, 영양염, 일차생산력, 퇴적물의 온도, 입도조성, 유기물의 함량 조사 |
| · 생물집합체의 구성원파 구성원의 생산량 파악 | 미생물, 식물 플랑크톤, 동물 플랑크톤, 연성저질생물, 암반 부착생물, 치자어, 성어                |
| · 먹이망 구조 및 에너지 흐름파악       | 부유 생태계, 연성저질 생태계, 암반 생태계                                       |
| · 생태계 모델 구축               | 적정모델체제구축, 시험운용, 보완   |

인하여 부영양화가 항시 우려되고 있다. 이들 오염원들은 바다목장과 같은 연안의 효율적이고 경제적인 이용에 커다란 장애 요인이 되며, 대개 연안주변에 축적되리라 예측되지만 타 해역으로의 이동가능성을 배제할 수 없기 때문에 정기적으로 이들에 대한 모니터링이 실시되어야 한다.

한려해상국립공원에 속해있는 바다목장해역은 영양염 등 기초환경조사가 이미 수년간에 걸쳐 연구 조사되었던 지역이다. 기초생산력에 영향을 미치는 영양염은 생태계를 유지시키는 물질과 에너지 흐름에 대한 기초자료를 제공하게 된다. 따라서 영양염의 계절적 변화뿐만 아니라 오랜 기간에 걸친 환경변화의 장기적 변동을 비교 분석하는 것도 중요하다. 그러므로 본 조사의 기본 목표는 목장해역의 수온과 영양염 등을 측정하고, 이 자료를 그간 조사된 자료와 비교하여 이들 환경요인의 변동을 분석하는 것이다.

### 생물집합체의 구성원과 구성원의 생산량 파악

#### 동식물플랑크톤

해양생태계는 생물적 구성요소인 생산자, 소비자, 분해

자와 비생물적 구성요소인 환경으로 이루어져 있다. 생산자에는 종조성이나 생물량으로 보았을 때 식물플랑크톤 규조류가 압도적으로 우세하며, 그 다음으로는 와편모조류이며 그 외 미세조류가 다수 있다. 이들은 해양생태계에서 햇빛에너지를 이용하여 무기물을 유기물로 합성하므로 기초생산을 담당하며 먹이 연쇄를 유지하는 기본이 된다. 이와 같이 기초생산에 영향을 미치는 환경요인에는 햇빛, 수온, 염분, 영양염류, 중금속 등 여러 가지가 복합적으로 작용하고 있다. 따라서 기초생산자인 식물플랑크톤군집의 구조와 기능을 조사하고, 이들을 먹이원으로 하는 소비자 동물플랑크톤을 파악하는 것은 바다목장 내에서 에너지의 흐름을 파악하는데 필수적인 자료이다.

동물플랑크톤은 바다 먹이망의 이차생산자로서 일차생산자인 식물플랑크톤을 먹고, 이는 다시 어류 등의 유용생물자원의 먹이가 된다. 따라서 지속 가능한 개발로서의 바다목장에서 동물플랑크톤의 분포에 대한 정확한 정보는 매우 중요하다. 특히 동물플랑크톤은 광합성과 유기화합물-박테리아의 관계에서 비롯된 일차

생산에 대한 최초의 소비자이며, 다음단계의 매개자이기도 하다. 이렇게 일차생산자와 고차 소비자를 연결하는 동물플랑크톤의 생태학적인 기능은, 물리적인 환경, 먹이원의 분포와 어류등에 대한 포식-피포식 관계에 대한 적응전략으로서의 분포와 이동패턴 등을 통해 변화한다.

해양에서 높은 생물량을 보이며, 어류의 먹이원으로서 중요하다고 알려진 동물플랑크톤은 크게 작은 갑각류 그룹과 젤라틴 동물플랑크톤 그룹으로 나눌 수 있다. 작은 갑각류에 속하는 무리는 지각류, 요각류, 곤쟁이, 바다곤쟁이 등의 다양한 종류들과 대형무척추동물의 유생 등이며, 젤라틴 동물플랑크톤에 속하는 무리는 자포동물, 빛해파리, 모약동물 등이다. 이들 동물플랑크톤은 종류에 따라 서로 다른 먹이원기 메커니즘을 통해 식물플랑크톤의 양을 조절할 뿐만 아니라 어류의 다양한 먹이 섭성에 의해 복잡한 분포패턴을 보인다.

통영해역은 우리나라의 남해안 가운데서도, 갑각류 플랑크톤 외에 위에 언급한 젤라틴 동물플랑크톤이 비교적 다양하게 출현하는 해역이다. 이들 동물플랑크톤이 바다목장에서

어떤 자연적 자원의 역할을 할 것인지를 파악하는 것은 매우 중요하다. 그러므로 통영 바다목장해역에 분포하는 동·식물플랑크톤의 종조성과 분포패턴을 자세히 이해하고, 궁극적으로는 기초생산과 이에 영향을 미치는 물리화학적 요인의 계절변화를 측정하여 장기적으로 해역의 생태계의 균형과 지속적인 최대생산성을 유지할 수 있게 하는 기초자료를 다양한 방법을 통해 획득하고 있다.

### 어 류

통영 해역에 출현하는 어종은 통영해역이 연간수온의 변화가 10~27℃범위를 오르내리는 큰 변화 폭을 가지고 있는 곳이기 때문에 계절별, 해역별, 어종에 따라 성장단계별 출현양상이 크게 달라진다. 어떤 종은 이 해역에서 연중 머무는 가하면 자어기와 치어기 또는 어린 유어기와 같은 특정 발육단계에만 이곳을 찾거나 머무는 종이 있고, 또 매년 정기적으로 산란을 위하여 이곳으로 회유해 오는 종 등 다양한 생태적 패턴을 나타내고 있다. 예로서 멸치는 연중 이 해역에서 서식하면서 산란하는 종이며, 그 외 출현하는 대부분의 난류성 어종들은 겨울이

특정해역을 대상으로 하는

바다목장은

그 성격이 지역에 따라 약간씩 달라질 수밖에 없으며, 이는 해역마다 저마다 고유한 생태계 구조를 지니고 있기 때문이다.

대개 생태계라 함은 특정해역의 생물집합체와 이를 둘러싼 환경으로 정의하고 있으며,

좁은 곳에서도 장소마다 물리·화학적 환경이

약간씩 다르기 때문에 여기에 반응하여 살아가는 생물집합체도 달라진다.

따라서 바다목장에서 사업의 첫 단계는 대상으로 삼는 해역에 어떤 종류의 생물이 어떤 환경 속에서 살고 있는가와 이들 생물과 환경과는 어떠한 관계를 갖는가를 정밀하게 파악하는 것이다.

되면 깊은 수심이나 남쪽의 먼 바다로 월동을 위하여 이동해 가며 반면 꼼치와 같은 종은 겨울철이 되면 산란을 위하여 통영 연안으로 찾아온다. 이렇듯 다양한 어종이 출현하는 바다목장해역에서의 어류자원의 분포패턴을 위해 장기적인 조사가 진행중이다. 또 이 해역의 표층을 떠다니는 해조류는 바위 연안에서 붙어살던 모자반 등의 대형 갈조류가 해류를 따라 떠다니는 것으로 다양한 동물성 플랑크톤이나 많은 어종의 초기발육단계에서 필요한 생활환경을 제공해 주고 있어 연안 수산자원의 증강가능성을 제공하고 있다.

### 저서동물

저서동물은 대부분이 퇴적물의 표면이나 속에 살면서 떠다니는 부식물이나 바닥에 가라앉은 유기물을 먹기 때문에 저층수괴와 퇴적층을 정화하는 역할을 한다. 또 수괴에서 바닥으로 가라앉은 유기물을 다시 식물이 필요로 하는 영양염으로 다시 순환시키는 동시에 유기물을 재부유시켜서 다른 동물의 먹이로 이용될 수 있도록 한다. 특히 이들이 이루는 무리의 성질은 해류의 방향 및 속도에 따른 생물의 가입과 확산, 먹이공급 등에 영향을 받

게되며, 퇴적환경을 변화함에 따른 요인과 수심의 변화 등에 영향을 받게 된다.

바다목장을 이루기 위해서는 어초 등의 구조물이 투입되기 마련이므로 투하된 구조물 주변의 저서생물에 관한 자료를 파악하여 생태계의 구조와 물질순환에 관한 기초적 자료를 제공할 필요가 있다. 그리고 연안자원관리를 위해서는 치어 성육장에 대한 연구가 필수적이다. 특히 치어성육장이 조성되기 전 후의 저서생태계의 특성을 파악한다면 연안 생태계를 평가하고 예측할 수 있는 기초자료가 되며 추가로 설치될 치어성육장 주변 저서환경에 대하여 진단할 수 있는 자료를 제공한다. 그리고 투입된 어초 등의 구조물에는 시간이 경과함에 따라 다양한 생물이 부착하게 되고, 이들은 어류 또는 다른 무척추동물의 먹이로 사용되어 투입된 구조물의 생산력에 많은 영향을 미친다. 그런데 이들 부착생물은 종마다 서식할 수 있는 장소가 제한되어 있고, 또 계절적으로도 그 종류가 다양하게 변화하게 된다. 예를 들어 빛이 많은 들어오는 얕은 곳에 어초를 투입할 경우에는 해조류 중심의 부착생물이 큰 무리를 이룰 가능성이 높고, 보다 깊은 곳에

서는 무척추동물이 중심이 되어 무리를 이루게 된다. 또 조류의 세기에 따라 또는 파도에 너지의 세기에 따라 부착하는 생물의 종류가 달라진다. 마찬가지로 계절적으로는 각 종류의 생물이 연중 변화하는 수온에 따라 자기가 선호하는 생식기간을 택해 번식한다. 따라서 어초 등의 인공구조물을 투하하여 최대의 생산효과를 얻고자 할 때는 어느 장소 또는 어느 시기에 투입하는가가 대단히 중요하다. 그러므로 이러한 자료를 얻는 하나의 작업으로 현재 목장해역에서 수심별 또는 월별로 일정한 크기의 부착판을 투입하여 여기에 나타나는 부착생물의 종류와 특성 그리고 이들이 시간경과에 따라 변해가는 과정을 조사하고 있다.

#### 해조류

바다목장에서 해조류는 대단히 중요한 역할을 한다. 대개 전복 등 여러 종류의 무척추동물과 어류의 먹이가 되는 탄소 등의 유기물을 광합성을 통해 생성하고, 크기가 다른 여러 종류의 식물들이 모여 해수표면부터 암반바닥까지 숲을 이루어 분포함으로써 어류가 숨어살기에 적합한 서식공간을 제공한다. 대개 해조류는

암반에 부착하여야 살아갈 수 있고, 암반이 발달한 곳에서 많은 해조류가 모여 숲을 이루게 된다. 만약 해조류가 붙는 암반이 그 구조가 복잡할 경우에는 암반과 해조숲의 복잡한 다층화 구조로 인해 더욱 다양한 생물들이 모이게 되며, 이들 무리는 서로간에 또 다른 유기적 관계를 형성하여 결국 높은 생산성을 보유하게 된다. 때문에 굳이 바다목장이 아니라 하더라도 지금까지 연안의 생산성을 높이기 위해 해조숲을 보호하고 또 조성하는데 많은 예산과 노력을 기울여 왔다. 이러한 노력은 우리뿐만 아니라 해양과학이 발달한 캐나다와 미국 등 여러 선진국에서도 해조류 등의 바다식물을 보호하고 조성하려는 노력이 진행되고 있다.

이런 맥락에서 통영바다목장에서 해역에 분포하는 해조류에 관해 다양한 연구를 수행하고 있다. 특별히 해조류를 기준으로 이들의 분포에 미치는 바다목장해역의 환경은 어떠한가, 이러한 환경 속에 대응하여 현재 해조류는 어떤 수심에 분포하고 있으며 또 지역적으로는 어떤 차이가 있는가, 현재 존재하고 있는 해조무리는 시간흐름에 따라 어떻게 변화하며 장기적으로는 크게 변

화하지 않는 안정된 상태에 있는가, 그리고 이들 자료를 종합하여 현재 바다목장해역에 존재하는 해조류의 연간 생물량은 총 얼마인가 등을 조사하고 있다. 이를 위해 전 해역에 걸쳐 해조류의 분포를 종합적으로 조망하며, 매월 정기적인 조사를 통해 이들 무리의 시간변동을 통계적으로 분석하며, 그리고 총생산량을 알기 위해 광합성력을 분석하고 있다. 특히 이러한 연구의 결과들은 현재 우리가 시행하는 이 해역에서의 해조숲 조성에 적절히 응용되고 있다.

### 먹이망 구조와 에너지 흐름파악 및 생태계 모델

해양생태계에서의 먹이망 구조는 육상생태계 보다 더욱 복잡하다. 해양에서는 육상과 달리 좁은 장소 내에서도 환경이 다양하게 변화하므로 이에 대응하는 생겨나는 생물무리도 매우 다양해진다. 그러나 환경친화적 바다목장을 이루기 위해서는 목장해역에서 존재하는 생물무리의 먹이망 구조를 정밀히 파악할 필요가 있다. 이는 바다목장을 시행함에 따른 특정 종의 다량 방류, 어초 등의 구조물 설치, 그리고 해역주변에서 인간활동에 따른

점진적 오염증가 시 수반되는 생태계의 변화를 예측하고, 그 변화가 심각하다고 인식될 때 이러한 작업을 적절히 보완하고, 건강한 생태계와 현재의 잠재생산력을 지키기 위해 필요한 생태계 모델을 수립하기 위함이다.

현재 수행되는 바다목장해역에서의 생태계 구조는 대단히 복잡하기 때문에 편의적으로 생태계를 부유생태계, 저서생태계, 그리고 암반생태계로 임의적인 구분을 하여, 각 단위 생태계 내에서의 먹이망 구조와 에너지 흐름을 파악하고 있다. 부유생태계에 대해서는 영양단계별 관계(일·이차생산량, 영양단계별 관계, 에너지 전이량 등)를 밝히며, 저서생태계는 섭식유형별 생체량 및 생산량과 에너지 수지를 알아보고, 암반생태계의 경우에도 일차생산자인 해조류부터 일차소비자까지의 관계를 밝히고 있다. 이 작업을 통해 얻어진 각 분야의 자료를 종합하여 현재 바다목장 해역의 생태계 구조를 명확히 제시하며, 더불어 이들 자료를 토대로 생태계 모델을 작성할 계획에 있다.

이러한 작업의 의미는 비록 국지적이긴 하나 다음과 같은 여러 가지 중요한 의미가 있다. 첫째 국내 최초로 연안 생

태계의 특성을 종합적으로 이해하는 장기적인 연구가 수행되어, 이를 통해 생태계 모델 수립 및 생태계관리 체제 구축 기술력의 확보가 가능하게 되었다는 점, 둘째 바다목장사업의 주요 기술인 대상생물의 선정, 공간의 효율적 이용, 어초 투입에 적합한 장소 및 시기의 결정, 효율적인 해중림의 조성과 그 기능유지, 환경 친화적 생물 방류 등에 필요한 중요한 정보를 제공하며, 셋째 바다목장을 수행함으로써 나타나는 긍정적 또는 부정적 효과와 그 정도를 예측·판정하는 기술을 구축할 수 있다는 점, 넷째 목장해역의 생태계에 대한 이해는 활용을 위한 일차적인 과정으로, 바다목장사업의 주요 기술(어초투입, 해중림 조성, 방류사업 등)에 요구되는 자료를 제공함으로써 이에 소요되는 비용을 절감하며, 다섯째 대상해역에서 미래에 요구되는 생물자원의 목록, 잠재 생산량, 그리고 이들의 생태적 특성에 관한 다양한 정보를 획득하여 국가산업발전에 기여할 수 있으며, 여섯째 이는 연안어장의 효율적인 이용과 생산성 증강을 위한 일차요소로서, 궁극적으로 국가의 수산자원증대와 어업자의 소득증대에 기여한다. ㉠