

기후변화에 따른 해양생태계의 변화양상과 그 대응방안¹⁾

이지왕 · 전득산²⁾

한국종합환경연구소 공학박사

서 설

지구는 태양에 대한 공전면의 기울기에 따라 빙하기와 간빙기를 반복해 왔다고 한다. 장구한 세월 동안 반복되어온 온난화와 한랭화 과정 속에서 오늘 이 지구를 어떻게 자리매김을 해 볼 수 있을까? 실제 지구적 규모의 기후변화는 매우 자연스러운 일이라 하겠다. 최근세의 변화 특히 온난화로 일컬을 수 있는 지구기후변화는 1800년대 중반부터 시작되었다(그림 1, A-B). 지구온난화 논쟁은 장구한 세월을 거쳐 일어나는 자연스러운 지구의 기후변화 움직임에, 인류의 화석연료 사용으로 부가되는 기여도가 얼마나 되는지에 그 초점이 있다. 지구온난화 현상의 본질에 대한 논쟁은 차치하더라도, 기상, 생태계 등의 격변이 인류의 생존환경에 위협적인 요소로 작용하고 있는 우리 주변의 현상을 살펴보는 것이 오늘날의 급선무라 하겠다.

국지적이긴 하지만 한반도 주변의 기후변화 현상을 우선 살펴보자. 극동아시아에 위치한 우리나라의 기후는 점점 아열대성으로 변화되고 있으며, 바다의 온도 또한 상승하고 있다. 국립수산진흥원에 따르면 우리나라

주변 해역의 해수온도는 최근 80년간 0.6~0.9°C 상승하고 있으며, 이에 따라 어장이 북상하고 있다고 한다. 해양은 그 엄청난 흡열성으로 인해 지구의 기온을 조절하는 중요한 요인 중의 하나이다. 대기에 비해 상대적으로 큰 비열로 말미암아 해수 온도의 미미한 상승만으로도 해수면 상승 등 대대적인 현상이 초래된다. 최근의 연구 결과에 따르면 전 지구적인 규모이전에 우리 생활과 산업에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 한반도 연안의 수온도 향후 100년동안 2°C 정도에 이를 것으로 예측되고 있다(Kim 등, 2005).

해수의 수온상승에 따른 해수면상승

지구온난화가 해양에 미치는 영향중 가장 큰 문제중 하나로 해수면 상승을 들 수 있다. 해수면이 상승하면 전세계 대부분의 해안저지대가 수몰되기 마련이므로, 3면이 바다인 우리나라도 예외는 아니어서 상당부분이 침몰되리라 예측하고 있다. 지난 3000년 동안 해수면은 1세기에 약 12 cm씩 꾸준히 상승해 왔다고 한다. 지구온난화의 주요 원인으로 산업화를 들고 있으나 해수면 상승

1)Climate Change and Its Impact on Marine Ecosystems

2)LEE, Ji-wang, Korea Environmental Technology Consulting Hotline Co., Ltd.; E-mail: ceo@ketch.co.kr
JEON, Deuk San, E-mail: ocn@chollian.net

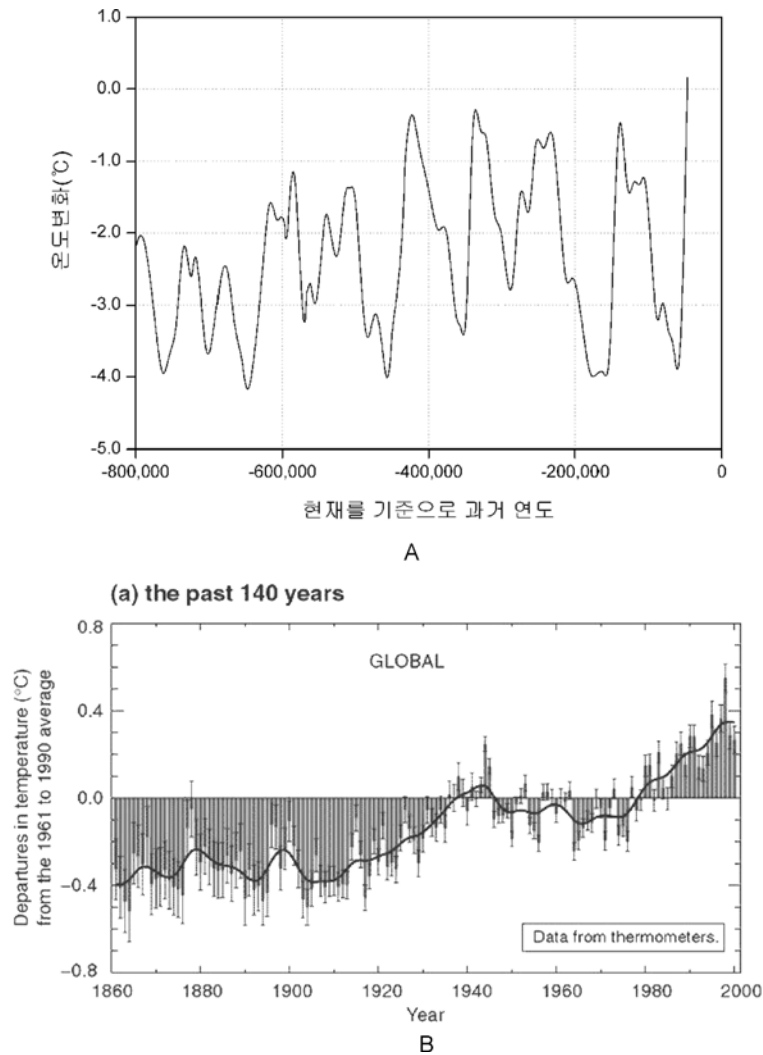


그림 1. A: 지난 80만년간의 기온변화(1961-1990년), B: 지난 140년간의 기온변화(1961-1990년), (자료출처 : www-sci.pac.dfo-mpo.gc.ca).

은 산업화 이전에도 꾸준히 진행되어 왔던 셈이다.

온난화와 해수면 변화 사이에는 2가지 상반되는 학설이 있다. 하나는 수온이 높아져서 해수가 팽창되기 때문에 해수면이 상승한다는 학설이고, 해수 증발량이 증가하면 남극과 북극의 강설량이 증가하여 해수면이 오히려 낮아진다는 학설이 그것이다. 현재는 약 2만년전에 빙하기 끝난 이후 계속해서 극

지방의 빙봉이 녹고 있으며, 이에 따라 해수면 상승이 지속되고 있다. 이런 추세라면 빙봉은 다음 빙하기가 올 때까지 꾸준히 녹을 것이 분명하다. 극지방의 빙봉이 완전히 녹으면 해수면은 4.6~5.5 m까지 상승할 것으로 예측되고 있다.

해수면의 자연상승을 뒷받침하는 학설에는 해저지형의 구조적 변화에 따라 해수면이 자연 상승한다는 지구물리학적 가설이 있다.

모델들이 자연현상의 전부를 반영하지 못한다는 한계가 있기는 하나, 수리학적 수치모형실험의 결과 또한 지구온도가 증가하면 해수면 또한 정비례하여 상승하는 상관관계를 보여 준다. 따라서 해수면상승은 자연적 진화의 일부일 뿐 인간 활동과는 무관하다는 학설도 고개를 끄덕이게 한다. 실제로 인류는 얼마 전에 있었던 인도네시아의 대지진처럼 커다란 자연현상의 변화에 대하여 순응할 수밖에 없는 것이 현실이다. 과학이 가져다줄 수 있는 것은 불확실한 예측일 뿐, 과학의 발전으로 기대할 수 있는 것은 인류의 피해를 일부지만 줄일 수 있다는 것이 전부라 하겠다. 해수면 상승은 피할 수 없는 현실이며, 우리는 이로 인한 피해를 줄이기 위해 노력할 수 있을 뿐이다(Hollander, J.M., 2004).

우리나라 주변해역의 최근 단기적 수온변동과 장기 예측은 다음과 같다.

우리나라 주요沿岸의 2003년 평년수온 대비 수온 편차의 변동경향을 살펴보자.

東海 주문진 연안수온은 1~11주 및 27~46주를 제외하고 대부분 1.5°C 내외 고온상을 보였고, 포항 연안수온은 대부분 기간에 평균 0.7°C의 고온상을 나타내었다.

南海 부산 연안수온은 1~6 및 26~38주 동안 1°C 저온상을 제외하고 대부분 평년상을 보였고, 통영 연안수온은 대부분 기간에 평균 1°C의 고온상을 나타내었다. 여수 연안수온은 26~38주의 저온상을 제외하고는 평균 0.8°C 고온상을 보였다. 제주 연안수온은 1~13주, 26~32주 및 49~52주의 저온상을 제외하고 평균 0.8°C의 고온상을 나타내었다.

西海 목포 연안수온은 1~4주 및 26~35주의 저온상을 제외하고는 평균 0.5°C 고온상을 보였으며, 군산 연안수온은 1~4주, 17~38주 평균 0.7°C 저온상을 제외하고는 대부분 평균 0.8°C의 고온상을 보였다. 대천 연안수

온은 25~37주는 1°C 저온상, 그 외 대부분은 1°C의 고온상을 보였다. 인천 연안수온은 7~19주의 0.8°C 고온상을 제외하고, 대부분 1°C 저온상을 나타내었다(해양수산부, 2004). 이러한 단기적 수온변동의 요인은 쓰시마 난류의 영향을 가장 크게 받고 있는 것으로 생각되는데 쓰시마 난류의 영향권역인 남해와 동해에서 뚜렷한 상승세를 보이는 것으로 미루어 알 수 있다. 장기적인 수온변동은 최근 북서태평양 주변지역의 수치실험 결과에 의하면(Kim 등, 2005), 2100년경의 해양표층온도가 2000년과 비교하여 2.0°C 증가할 것으로 예측하고 있다. 해수의 열팽창에 의한 해수면 상승은 17 cm 상승할 것으로 보고하였다.

해양생태계내의 종조성변화

수온은 해양 생태계의 가장 큰 영향을 미치는 환경요인중의 하나이다. 수온상승은 해양생태계에 근본적인 변화를 초래한다. 영국해협에서 이루어진 장기관측 결과에 따르면 물리적 환경요인의 변화는 해양생물의 종조성이 변화를 수반한다고 한다(Hawkins, S.J., 2003). 2004년 11월 아이슬란드 레이카비크에서 개최된 ACIA 기후변화 심포지움에서도 베링해에서 진행되고 있는 극적인 어장변화, 가자미류가 주종이었던 1960/70년대 어장이 1980년대 중반 이후 대구류가 주종으로 부상되고 있는 변화상이 보고된 바 있다. 대구류는 1950/60년대에는 중간 영양단계 에너지흐름의 10% 미만으로 그 비중이 낮았지만 1980년대에 접어들면서 50%까지 증대되었다고 한다(James E. Overland 등, 2004). 해수온도 상승은 생태계의 교란을 가져오기도 하지만 영양단계상의 에너지 흐름을 증대시키는 상반된 효과를 가져오기도 한다. 실제로 쓰시마 난류의 강화는 식물플랑

크톤 특히 유해조류의 대량 발생을 초래하기도 하지만 1차 생산력을 증대시키는 양면성을 가지기도 한다.

온난화가 지구 생태계에 미치는 영향은 각 지역별로 다르다. 국제 고래 협회가 발간한 보고서에 따르면 해양에 복잡한 변화가 일어나 동물 플랑크톤을 먹이로 취하는 크릴이 감소해 고래뿐만 아니라 상당수의 해양생물이 감소했다고 보고하고 있다. 극지방 항하의 해동은 일차 생산을 심각하게 저하시키는 요인으로 작용하여, 해양 생태계의 첫 번째 먹이 단계인 식물 플랑크톤이 감소하게 된다. 식물 플랑크톤의 감소는 먹이사슬의 기초적인 부분의 취약성으로 유영 동물 플랑크톤을 위협한다. 상대적인 균형이 무너지면서 초기의 생태계를 구성하는 요소가 크릴을 감소하게 하고 크릴을 먹이로 먹는 어류 사이에 생물학적인 경쟁이 심각하게 일어나게 된다.

연어의 경우도 눈여겨 볼만 하다. 수온 상승은 연어 자원의 감소로 이어졌다. 1997년과 1998년, 예년 보다 기온이 높았던 시기에 연어 어족은 감소했으며, 연어중 북태평양의 어떤 종은 거의 자취를 감췄다. 캐나다 해양학자들은 어류 가운데 연어가 기온의 변화에 가장 민감하다고 전했다. 이들의 섭식양식은 수온에 의존한다. 수온이 높아질수록 연어가 섭취해야 하는 먹이가 더 많이 필요하게 된다. 수온이 어느 수준 이상으로 올라가면 먹이의 부족으로 연어는 죽고 만다. 만일 수온이 계속 상승한다면 북태평양의 연어 어족은 계속 고위도로 이동하게 되며 베링해의 냉수를 찾아가거나 수온의 변화가 적은 저층수로 이동하게 된다. 그렇지 않다면 연어는 멸종하게 될 것이다(Science & Nature, 2001).

우리나라 연근해에 서식하는 주요 표층 회유성 어종도 예외일 수는 없다. 이들에 영향

을 미치는 대표적인 환경요인은 수온이며, 이외에도 먹이생물, 염분, 용존산소 등의 변화에 따라서 각 어종의 식생역과 분포 밀도가 변화한다. 우리나라 연근해에서 나타나는 온난화의 징후는 겨울철을 중심으로 연안수온의 상승경향이 뚜렷이 나타나고 있고, 그와 함께 난류성 회유성 어종의 겨울철 어획량과, 연안어획량에 대한 겨울철 어획비율이 높아지고 있다. 우리나라에서 어종변화가 특히 변화가 심한 해역은 동해이다. 동해의 해양환경은 남태평양에서 올라온 난류(쿠로시오)가 제주도과 대마도 사이를 지나 동해남부해역을 통과해 동해 중간으로 흐르고 있고, 북쪽에서는 한류(북한한류)가 동해안을 따라 남쪽으로 흐른다. 이렇게 성질이 다른 난류와 한류가 만나는 동해에서는 수온이 급격히 변하는 수온전선이 형성되어, 난류성 어종과 한류성 어종이 다양하게 분포한다.

기후변동과 관련하여 북태평양에서 진행되고 있는 체제전환(Regime Shift)은 자연에서 되풀이되고 있는 기후변동의 한 예로서 대기뿐만 아니라 해양순환, 해양생태계에서 진행되고 있는 대대적인 변화를 예고하고 있다. 1990년 이후 관측되고 있는 동물플랑크톤의 출현량 증가도 우리나라 연근해를 포함한 북태평양의 기후변동과 전혀 무관하지 않을 것이라고 생각한다. 따라서 기후변동에 따른 수온상승은 동물플랑크톤의 급격한 증가를 가져올 수 있을 뿐만 아니라 자원 분포역의 변화, 종 교체 현상을 초래할 수 있다(국립수산과학원).

해수 온도가 상승함으로써 난류성 해양생물들의 출현범위도 북상하고 있다. 최근 증가하고 있는 대형 아열대성 해파리 떼의 출현은 어업에 직접적인 피해를 주고 있다. 해파리의 급증은 이웃 일본에서도 심각한 현상으로, 베링해, 흑해 등에서도 볼 수 있다. 이러한 현상은 전지구적인 기후변화에 기인

한 수온상승으로 겨울철 서식 가능종이 증가했으며, 그 식생역 또한 넓어졌기 때문에 설명할 수 있다. 또한 최근 동해안의 정치망에는 우리나라에서 거의 볼 수 없는 초대형가오리와 문어가 많이 잡히고 있다. 초대형가오리는 희귀종인 색가오리과에 속하는 것으로, 폭 1.5~3 m, 길이 2.5~5 m, 무게 3백kg 이상이다. 문어는 보라문어과에 보라문어속의 문어로 인도양이나 태평양의 온대에서 아열대 지방에 분포하는 종이다. 이러한 이색종들의 출현은 쿠로시오난류의 세력이 강했던 반면 여름철에 냉수대가 발생하지 않아, 수온이 예년에 비해 1~2°C 정도 높아졌기 때문으로 그 원인을 짐작할 수 있다. 실제 동해는 장기적으로 수온상승이 지속되고 있으므로 대형가오리나 보라문어류 등 아열대나 온대 해역에 주로 서식하고 있는 어종들의 분포해역이 우리나라 해안까지 확장된 것으로 전문가들은 보고 있다. 올해 동해안의 적조는 9월에 발생해 거의 2달 동안 지속됐다. 보통 적조는 수온이 낮아지면 소멸되는데, 올해의 경우 쓰시마난류의 세력이 확장돼 적조생물이 활동하기 좋은 높은 수온이 계속 유지됐기 때문이다. 이런 현상들 역시 기후변화에 따른 생태계 변화의 하나로 추정할 수 있다.

어족자원 변화

국립수산진흥원의 자료에 따르면 해수온도는 지난 80년간 0.6~0.9°C 상승하였다. 국립수산진흥원이 1921년부터 현재까지 한반도 주변해역에 대한 해양환경 및 수산자원 변동상황에 대하여 조사한 자료(국립수산과학원, 2002)를 분석한 결과, 해양에서도 온난화 징후가 나타나고 있음이 밝혀졌다. 지난 80년간, 표층수온은 동해 0.62°C, 남해 0.61°C, 황해 0.88°C 각각 상승하였다. 이와 같은 수

온 상승추세는 주로 겨울철을 중심으로 나타나며, 특히 겨울철에 더욱 뚜렷하였다. 또 수산자원의 주요 먹이생물인 동물플랑크톤의 분포량도 1980년대까지는 50 mg/m³ 수준이었으나 1980년대부터 증가하여 1990년대에는 약 200% 증가한 100 mg/m³로 나타났다. 특히 엘니뇨현상이 심했던 1997년도에는 난류성 동물플랑크톤이 급증하여 분포량이 150 mg/m³로 나타나기도 하였다.

어종별 동향을 좀 더 자세히 살펴보자. 1960~1970년대 초까지 풍어를 보였던 꽁치, 오징어 자원이 1970년대 중반을 기점으로 감소하고 반면에 고등어, 멸치 등이 증가하면서 1980년대 후반에 오징어를 비롯한 고등어, 멸치 등 회유성 어종이 계속 증가하고 있다. 특히 표층에서 회유하는 꽁치는 그 회유형태가 기후-해양 변화에 민감하게 반응한다고 밝혀지고 있어, 해양온난화와 어종 교체현상에 관한 연구가 과학자들간에 심도있게 연구가 진행되고 있다.

또한 최근에 논란이 되고 있는 지구 온난화 진행과 함께 한반도 주변의 해양변화와 관련하여 어업자원 변동의 3가지 전형적인 특이 현상이 나타나고 있다. 즉, 첫째, 난류성 어종에 있어 어종의 분포해역이 북상하고, 둘째, 어종의 어기가 연장되고 있으며, 셋째, 어종의 겨울철 어획량의 증가 현상이 뚜렷이 나타나고 있다. 오징어, 고등어, 멸치 등 연근해 주요 난류성 어종의 겨울철(1~3월) 분포해역이 1970년대 중반에 비하여 1998~2000년에는 북상 형성되었고, 분포 밀도도 높아 어획량이 증가되고 있다. 특히, 오징어의 경우, 2월과 3월에 1970년대 중반에 비해 남해안으로부터 동해 중부 해역까지 60마일 이상 어장이 북상되고 있고, 겨울철 어획량(1~3월 평균)도 80년대 이전까지는 5,000톤 미만이었으나 1995년 이후 최근에는 13,000~32,000톤 수준으로 높아졌다. 또 연

간 어획량에 대한 겨울철 어획비율도 1975년 이전에는 5% 미만으로 낮았으나 1990년 이후 최근에는 13% 수준으로 높아진 것으로 나타났다. 이와 함께 고등어, 멸치, 전갱이, 방어 등도 오징어와 비슷한 경향이 나타나고 있다. 그럼에도 불구하고 연근해 전체 어획량은 과도어획으로 인한 자원 감소로 1990년대 중반 이후 감소 경향을 나타내고 있다.

이러한 어획변동 현상의 원인 규명에 대해서는 태평양상에 발생되고 있는 엘니뇨현상과의 관계 여부 등 아직 연구 보완할 점이 있으나, 현재까지의 연구결과를 종합하면, 지구온난화에 의한 수온상승, 해류변동, 먹이생물 변동 등 원인으로 분석되고 있으며, 1976/77년과 1989/90년을 기점으로 발생되었던 북태평양 해역의 기후변동과 물리, 생산체계의 변화와 더불어 일어나는 해양환경의 체제전환(Regime Shift) 현상으로도 설명되고 있다. 북태평양권역에 있어서 1976/77년을 기점으로 따뜻한 기후체제에서 차가운 체제로 전환되었고, 1989/90년을 기점으로 다시 따뜻한 기후 체제로 전환되었으며, 기후변동으로부터 발생하는 체제전환은 기온, 수온 및 해양생태계 전반에 걸쳐 변화를 발생시키고 있다(자료출처 : 국립수산진흥원 어장환경부/어업자원부).

겨울철 수산 어획량 증가

국립수산과학원의 조사에 따르면, 동해의 표면수온은 1년에 0.02°C 증가해 1968년 이후 2000년까지 33년 동안 약 0.7°C 상승한 것으로 나타났다. 남해는 0.5°C, 서해는 1°C 상승했다. 전체적으로는 1980년대 후반부터 뚜렷한 고수온 현상이 나타났다. 특히 겨울철의 온난화 현상이 뚜렷하다.

이와 같이 지구온난화에 의한 겨울철 해

양온난화로 인하여 우리나라 어업생산에도 큰 변화가 있는 것으로 나타났다. 1920년대 후반부터 최근까지 정어리자원 생산량의 장기변동을 보면, 1930년대에 우리나라 어획 총 200만톤(연근해 어업) 중 정어리 어획량이 120여만톤(60%)으로 최고 높은 수준을 나타낸 이후 격감하여 1960년대까지 우리나라 연근해에서 정어리가 자취를 감추었다. 그러다가 1980년대 10여년간 일시적으로 회복되어 1987년에는 연근해 어획 총 150만톤 중 정어리가 20만톤(13%)이 어획되기도 하였다(그림 2).

오징어, 고등어, 멸치 등 연근해 주요 난류성 어종은 겨울철 분포해역이 최근 북상했고, 분포밀도도 높아 어획량이 증가하고 있다. 특히 오징어의 경우, 2~3월에는 1970년대 중반에 비해 1998~2000년 사이에 약 1백km 이상 어장이 북상했다. 이에 따라 겨울철 어획량도 1980년대 이전에 비해 1995년 이후에는 2.5~6배 증가했다. 연간 어획량에 대한 겨울철 어획비율도 1975년 이전에는 5% 미만으로 낮았으나 1990년 이후에는 13% 수준으로 높아졌다. 고등어, 멸치, 전갱이, 방어 등도 오징어와 비슷한 경향이 나타나고 있다.

반면 동해의 대표적인 한류성 어종인 명태는 1990년대에 들어 어획량이 급감하고 있다. 특히 명태는 1990년대 후반에는 1970년대 평균어획량보다 1백분의 1 이하로 줄어들었다. 뿐만 아니라 명태는 남하 한계선이 점점 북쪽으로 이동해 강원 중부 이북에 서만 잡힌다. 국산 명태는 생태, 황태, 동태, 북어 등 여러 이름으로 우리들에게 친근하던 어종이었으나 앞으로는 비싼 희귀어종이 될 수 있다. 찬물에 사는 붉은대게 역시 감소추세다. 반면 이들보다 좀더 따뜻한 물에 사는 한류성 어종인 대구나 가자미, 청어 등은 다소 증가해 어획량 감소율이 둔화되는

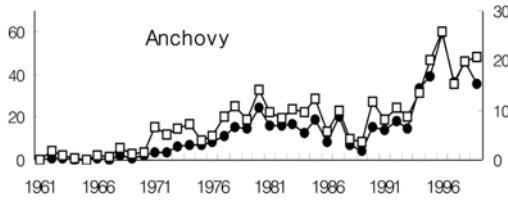


그림 2. 정어리류의 겨울철 어획량 및 어획비율의 연변동.

경향을 보이고 있다.

결론

지구 온난화가 우리나라 주변해역에 미치는 영향을 정리해 보자. 쓰시마 난류가 북상하며 평균 해수온도가 상승하였고, 이에 해양생태계가 순응해 가는 단계에 있다. 수온 상승에 따라 생물종의 변화가 생기고, 어족 자원의 변동이 발생하였으며, 겨울철에도 특정 어종이 많이 잡히는 등의 변화가 진행되고 있다. 특히 해파리의 대발생과 대형가오리 등 아열대성 생물의 출현등이 가장 눈에 띄게 달라진 현상이다.

지구 온난화는 지난 1세기 이상 지속되어 왔으며, 적어도 원인의 일부는 자연발생적인 것이다. 그리고 과거의 기후변동이 있었을 당시 세계는 그것에 순응하였고, 순응할 수밖에 없었던 것도 일부 긍정해야 할 것이다. 비유하자면, 자연이라는 큰 호수에서 인류는 단지 헤엄치고 있는 모습이 아닐까. 하지만, 자연발생적인 지구적 규모에서의 기후변화가 인간활동에 의해 가중되었다면 인류의 노력으로 그 가중치의 일부분이나마 덜어낼 수 있을 것이다. 실제로 연안생태계는 인간활동의 영향을 크게 받는 지역이며, 이러한 지역의 정화요인으로 가장 큰 역할을 하는 것은 역시 자연이다. 그 대표적인 현상이 태풍이다. 태풍은 엄청난 에너지를 쏟아 부으며 1년에도 수차례에 걸쳐 대규모 청소를 실시한다. 이에 비해 준설, 정화, 해안 쓰레기수

거등에 적지 않은 예산을 쏟아 부어야 하는 우리 인류의 힘겨운 청소는 얼마나 보잘 것 없는가.

오늘날 자연계에서 대대적으로 그리고 지속적으로 일어나고 있는 생태계의 본질적 변화를 이해하고 대처하기 위해서는 지속적이고 장기적인 모니터링이 필요하다. 특히, 우리나라 근해에 일어나고 있는 변화를 이해하기 위해서는 그동안 우리로서는 생소하다고 밖에 말할 수 없는 아열대성 해양생태에 대한 연구가 필요하다. 이러한 연구들을 통해 생태계 영향요인들에 대한 이론적인 이해에 새로운 지평을 열어 줄 것이며 자료가 축적됨에 따라 장단기적인 예측을 가능케 하는 전반적인 해양학적 역량강화로 이어질 수 있다. 선택과 집중은 현대 사회의 특권이기도 하다. 인류가 기후변화에 순응하는 것과 정부가 기후변화는 인간에 의한 것이라고 가정하고 그 폐해를 줄이기 위해서 과감한 정책을 시행하는 것 중에서 무엇이 더 효과적인 것인지 생각해볼 시점이라 하겠다.

참고문헌

- Chang Ik Zhang, Jae Bong Lee, Suam Kim and Jai-Ho Oh. 2000. Climatic regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean waters. *Progress In Oceanography* 47(2-4): 171-190.
- Clarkson, Kennedy and Phelps. 2000. The effect of temperature and water potential on the production of conidia by sclerotia of *Botrytis squamosa*. *Plant Pathology* 49(1): 119-128.
- Dong-Hoon Kim, Norikazu Nakashiki, Daisuke Tsumune, Yoshikatsu Yoshida, Koki Maruyama and Frank O. Bryan. 2005. Ocean climate change in the western north pacific(WNP) under the multi-century three-member ensemble predictions. *Journal of the Korean Meteorological*

- Society 41(2-1): 239-247.
- Eiichi Tajika. 1998. Climate change during the last 150 million years: Reconstruction from a carbon cycle model. *Earth and Planetary Science Letters* 160(3-4): 695-707.
- George L. Hunt Jr., Phyllis Stabeno, Gary Walters, Elizabeth Sinclair, Richard D. Brodeur, Jeffery M. Napp and Nicholas A. Bond. 2002. Climate change and control of the southeastern Bering Sea pelagic ecosystem. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 49(26): 5821-5853.
- George L. Hunt, Jr. and Phyllis J. Stabeno. 2002. Climate change and the control of energy flow in the southeastern Bering Sea. *Progress In Oceanography* 55(1-2): 5-22.
- Giuliana Villa and Davide Persico. 2006. Late Oligocene climatic changes: Evidence from calcareous nannofossils at Kerguelen Plateau Site 748 (Southern Ocean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*(in press).
- Jack M. Hollander. 2004. *The Real Environmental Crisis*.
- James E. Oerland, Jennifer Boldt, Phyllis J. Stabeno and S. Lyn McNutt. 2004. The Bering Sea is Shifting from an Antarctic Ecosystem to a Subarctic Ecosystem. *Proceedings on ACIA International Symposium on Climate Change in the Arctic*.
- Stephen J. Hawkins, Alan J. Southward and Martin J. Genner. 2003. Detection of environmental change in a marine ecosystem: evidence from the western English Channel. *The Science of The Total Environment* 310(1-3): 245-256.
- Y. Tomaru, Y. Kumatabara, Z. Kawabata and S. Nakano. 2002. Effect of water temperature and chlorophyll abundance on shell growth of the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*, in suspended culture at different depths and sites. *Aquaculture Research* 33(2): 109-116.
- Yu-Hwan Ahn, Palanisamy Shanmugam, Jae-Hak Lee and Yong Q. Kang. 2006. Application of satellite infrared data for mapping of thermal plume contamination in coastal ecosystem of Korea. *Marine Environmental Research* (in press).
- Yu-Hwan Ahn, Palanisamy Shanmugama, Joo-Hyung Ryua and Jong-Chul Jeongb. 2006. Satellite detection of harmful algal bloom occurrences in Korean waters. *Harmful Algae* (in press).
- 해양수산부. 2005. 2004년도 수산업 동향에 관한 연차보고서.