

## 기후변화에 대비한 해양환경연구의 방향

Consideration on new research direction in marine environmental sciences in relation to climate change

김수암

부경대학교 해양생물학과

**Suam Kim**

Department of Marine Biology, Pukyong National University

### Abstract

Due to the recent increase in greenhouse gases in atmosphere, world climate is rapidly changing and in turn, the earth ecosystem responds upon the climate changes. Comparing the ecosystem in the past, the present shapes of ecosystem is the result of the serious modification. Fishery resources in marine ecosystem, which usually occupy the upper trophic level, are also inevitable from such changes, because they always react to the natural environmental conditions. The northwestern Pacific is the most productive ocean in the world producing about 30% of world catch. From time to time, however, it has been notified that abundance, distribution and species composition of major fish species were altered by climate events. Furthermore, primary productivity of the ocean is not stable under the changing environments, so that carrying capacity of the ocean varies from one climate regime to another. Major climate events such as global warming, atmospheric circulation pattern, climate regime shift in the North Pacific, and El Nino event in the Pacific tropical waters were introduced in relation to fisheries aspects. The current status and future projection of fishery production was investigated, especially in the North Pacific including Korean waters. This new paradigm, ecosystem response to environmental variability, has become the main theme in marine ecology and fishery science, and the GLOBEC-type researches might provide a solution for cause-effect mechanism as well as prediction capability. Ecosystem management principles for multi-species should be adopted for better understanding and management of ecosystem.

**Keywords** : climate change, global warming, fishery resources, fishery management, GLOBEC

## I. 들어가며 : 기후와 해양

최근의 1997/98년 엘니뇨(El Nino)는 우리 인류가 경험하였던 엘니뇨 중에서 가장 커다란 것이었고, 엄청난 피해가 지구 도처에서 보고되었다. 그리고 2002년 봄철에 새로운 강력한 엘니뇨의 조짐이 이미 페루 인근 해역에서 시작되고 있다는 미국 국립해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration : NOAA)의 예보는 전 세계를 바짝 긴장시키고 있다. 이렇게 비정상적인 자연현상의 발생은 1990년대 이후부터 학계뿐만 아니라 사회적으로도 비상한 관심을 받고 있다. 세계 곳곳에서의 급속한 산업화는 온실가스의 방출을 증가시켜 지구온난화 현상을 가속시키고 있으며, 환경오염은 매우 빠른 속도로 전 지구적으로 확산되어 지구생태계를 위협하고 있다. 이미 몇몇 선각자들은 향후 발생할 지구기후변동의 문제가 인류가 직면하고 있는 가장 커다란 위협이라고 경고한 바 있었으며, 각국의 지도자들은 2000년 1월에 개최된 스위스의 다보스 포럼에서 새로운 밀레니엄의 첫 시기에 인류가 가장 시급히 취급하여야 할 일은 지구의 기후변화에 대비하는 것이라고 규정하였다. 선진국에서는 이미 지난 20-30년 전부터 지구의 역사에서 기후가 어떻게 변화하였으며, 앞으로 어떻게 변화할 것인지 예측하는 연구를 활발하게 진행하고 있다. 다행스럽게도 우리 정부에서도 뒤늦게 기후변화의 심각성을 인지하고, 부처별로 제각기 그 후유증을 최소화하고 국제사회의 새로운 패러다임에 동참하기 위하여 고심하고 있는 듯하다.

사실 지구의 역사에서 기후변화는 이상스러운 현상이 아니다. 지구의 탄생 이래 기후는 끊임없이 변화하였으며, 기후가 바뀔때 따라 지구생태계가 개편되곤 하였다. 하지만 대부분의 기후변화는 장기간에 걸쳐 서서히 진행되었기 때문에 생물들은 비교적 무난하게 바뀐 환경에 적응을 할 수가 있었다. 요즘은 회자되고 있는 기후변화의 문제는 인간의 자연과파괴적 활동 혹은 과도한 공업활동의 결과로서 지구환경이 너무나도 급격히 변화하고 있으며 생물체들은 바뀐 환경에 적응할 시간적 여유가 없다는 것이다. 소규모의 진폭은 있으나 지구의 평균기온은 지난 100년 동안에 약 0.6도 상승한 것으로 관측되었다. 지구의 역사에서 수만 년 동안 진행된 빙하기와 간빙기 사이의 기온 차이가 약 3도에 불과하였다는 것을 감안한다면 이와 같은 기온의 상승은 매우 급격한 것으로 볼 수 있다.

기후의 변동은 육상환경뿐만 아니라 지구 표면의 71%를 덮고 있는 해양의 환경도 변화시키고 있다. 그리고 근년에 이르러 해양환경 변화의 속도가 유난히 빠르게 나타나고 있다. 해양의 변화를 유발하는 시키는 것은 분명히 기상 혹은 기후의 변화 때문이므로 해양은 기후계(climate system)를 구성하는 일원으로 간주할 수 있다. 기후는 해양을 변화시키며, 또한 바뀐 해양환경은 다시 기후에 영향을 미친다. 한편 해양이라는 비교적 안정된 환경에 적응하고 있던 해양생물은 급격한 환경 변화에 매우 취약하기 때문에 그 생태계의 구조가 재편된다.

해양생물은 환경에 재빠르게 적응하여 종족을 유지하던가 아니면 그냥 절멸되던가 둘 중의 하나이다. 따라서 인간이 주로 활용하고 있는 수산 생물자원의 분포나 양도 과거와는 다른 양상으로 나타날 것이다. 육상에서는 기후 혹은 기상의 변화가 생물체에 직접 영향을 미치게 되므로 기후변화가 예측된다면 생태계의 변화는 비교적 쉽게 예상할 수 있다. 그러나 해양에서는 생물체들이 해수 속에서 살아가고 있으므로 상황이 다소 복잡해진다. 기후가 변화하면 해양의 환경(즉, 물리적 현상)이 변화하는데, 첨단인 현대과학으로도 기후의 변동이 야기시키는 해양의 물리화학적 변동을 아직 상세히 예측할 수 없기 때문이다. 하지만 최근에 들어와 컴퓨터 발전에 힘입은 모델링 기법의 개선과 상당기간 동안에 축적된 기상 및 해양 환경 자료, 통계분석 방법의 발전 등은 기후-해양 상호관계 규명에 커다란 실마리를 제공하고 있다.

인류는 해양으로부터 여러 가지의 이득을 받고 있다. 해양에서 생산되는 수산물은 인류가 필요한 동물단백질 공급량의 약 16%를 차지하고 있으며, 20억 명의 인구가 해안에서 100km 이내의 해안 지역에 살면서 해양을 직접적으로 혹은 간접적으로 이용하고 있다(McGinn, 1999). 본 논문은 급변하는 지구환경연구 분야에서 기후가 변동함에 따라 해양생태계 및 해양수산자원이 어떻게 반응하고 있는지 파악하기 위하여 마련되었다. 특히 우리 나라가 위치하고 있는 중서부 태평양 해역에서의 해양생태계의 변화를 기후변화의 시각에서 해석한 사례들을 포함하였다. 또한 우리 나라 해양학의 방향과 정부의 정책을 점검해 보는 계기를 마련하기 위해서 선진국들이 추진하고 있는 국제적 연구프로그램인 '전지구 해양생태계 역학 연구(Global Ocean Ecosystem Dynamics : GLOBEC)' 프로그램을 간략하게 소개하였고, 우리가 추진하여야 할 해양 및 수산연구 방향을 고찰하여 보았다.

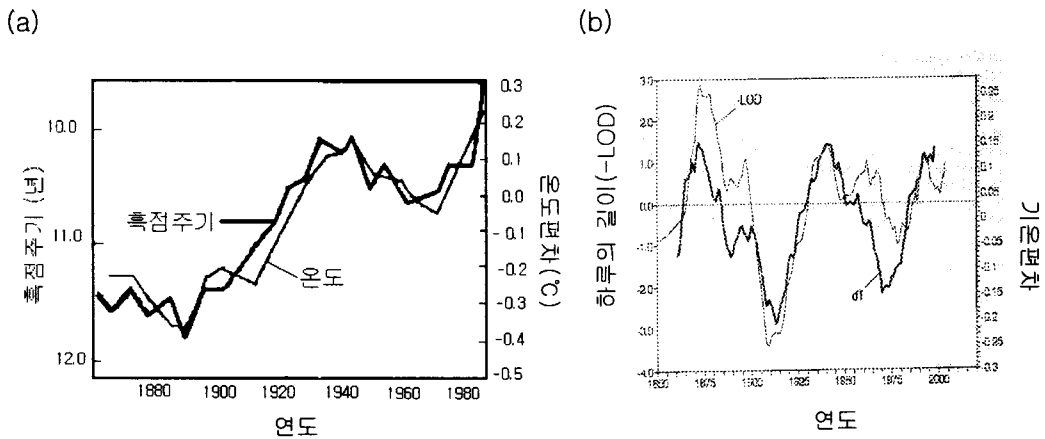
## II. 기후변동의 징후와 해양에서의 현상

기후변화에서 가장 민감하게 변화하는 요소는 기온이다. 인류는 1800년대 중엽부터 현대적인 기기를 이용하여 지구의 기온을 관측하였는데, 그 동안의 관찰결과로부터 지구가 점차로 온난화되고 있다는 사실이 알려지게 되었다. 그리고 이러한 온난화는 온실효과(greenhouse effect)라는 현상에 의하여 설명할 수 있는데, 대기 중 이산화탄소의 양이 증가하면 기온이 상승하게 된다. 즉 산업혁명 이전에는 대기 중의 이산화탄소의 양이 280ppm이었으나, 지난 세기에 산업시설이 엄청나게 증설되어 이산화탄소의 양이 370ppm에 이르렀고 이 결과 지구의 평균기온이 급격히 증가되었다는 것이다. 현재의 추세로 이산화탄소의 배출이 계속된다면 21세기의 중반에 이산화탄소의 농도가 산업혁명 시대의 두 배가 될 것이며, 기온의 상승도

#### 4 환경정책연구

현저할 것이라는 전망이다. 하지만 어떠한 자연의 기작(mechanism)에 의하여 지구의 기온이 결정되는지 아직 밝혀지지 않았으므로, 이산화탄소의 증가에 따른 기온의 예측은 아직 부정확하다.

지구의 기온에 변화가 있었다는 것은 여러 경로로 유추할 수 있다. 지구의 표면에 나타난 빙하의 확장/축소 흔적이라든지, 빙하나 퇴적층에 포함된 안정동위원소의 함량도 기온변동의 좋은 지시자들이다. 또한 수명이 긴 식물(혹은 동물)의 나이테 성장형태도 시대적으로 바뀐 기후를 나타내는 좋은 증거물인 것이다. 천문기상학자들은 지구의 자전속도(Klyashtorin, 2001.), 성층권 대기의 흐름양상(Klyashtorin, 1998), 태양 흑점의 활동주기(Friis-Christensen and Lassen, 1991.) 등이 지구의 기온변동과 유사한 형태로 변화하는 것을 관찰하였고, 이들 요소들이 기온변화에 관련이 있을 것이라고 주장하고 있다(그림 1).



<그림 1> 지구표면온도의 시대적 변화와 천문학적 관측치의 변화  
 (a) 태양흑점의 활동주기, (b) 지구의 자전속도

정부간 기구인 '기후변화에 관한 정부간 협의회(Intergovernmental Panel of Climate Change : IPCC)'에서는 기후변화의 사회적 영향이 엄청나게 크리라고 예상하여 1990년도부터 매 5년마다 각 분야별 전문가를 초빙하여 기후변동의 현황과 정책수립의 방향을 제시하는 보고서를 발간하고 있다(IPCC, 1996, 2001.). IPCC의 제3차 보고서에서는 이산화탄소의 증가율이 현재와 같다면 2080년에는 지구전체 평균 표면기온이 지금보다 3도 증가할 것으로 예상하였다(IPCC, 2001.). 대륙은 해양보다 두 배 정도 빠르게 더워질 것이며, 특히 고위도의 겨울이 심한 온난화에 직면할 것이라고 예견하였다. 또한 지구의 온난화는 기온뿐만 아니라 강수, 바람, 해빙, 해수면 상승 등에도 영향을 미치고 있다. 지구의 기후는 특히 1990년대에 들어와 매우 온난해졌으며, 북반구 고위도에서는 겨울에 습해지고 여름은 건조해졌다. 컴퓨터 모델

마다 약간 다른 결과를 보이기는 하지만 미래에는 북반구 중위도의 겨울에는 강수량이 증가하게 되며, 북반구 고위도에서는 여름과 겨울에 강수량이 증가할 것이다. 강수량의 증가는 또한 극단적인 강수 현상을 동반할 것이 예상된다.

북극해는 지구온난화의 영향을 조기에 나타내는 장소로서 대기 중의 이산화탄소가 지금보다 두 배 증가하면 북극해 해빙 면적의 60%가, 얼음의 부피가 25-45% 감소할 것이며, 인근 대륙으로부터의 하천수 유입이 증가할 것으로 예상된다. 이미 1978-1996년 사이에 북극해의 얼음 면적이 10년당 2.9-3.5%씩 감소하는 것으로 관찰되었으며, 향후에는 더욱 빠른 속도로 북극의 얼음이 녹을 것으로 전망된다. 과학자들은 2070년까지 북극권의 기온이 2-6도 상승하리라 예상하지만 이산화탄소 방출량을 예측할 수 없어 정확한 기온예측은 불가능하다. 해수면 상승은 주로 해수의 열팽창과 빙하의 해빙에 의하여 야기되는데, 1990-2100년 사이에 약 0.5m 해수면이 상승하리라고 예상하고 있다. 이러한 상승률은 20세기에 관측된 속도의 2-4 배에 해당된다.

지구 전반에 걸쳐 장기간으로 진행되고 있는 기후상태의 교대가 해양생태계에 미치는 영향을 파악하기 위하여 여러 가지의 시계열 자료를 생각할 수 있다. 기온과 같은 직접적인 기상 관측치, 지구의 자전 속도, 빙하의 규모, 혹은 얼음에 포함된 산소안정동위원소의 함량, 나무의 나이테 등의 기온의 간접적인 추정치는 대체로 수백 년 간의 장기간 자료로서 일정한 주기성을 보이고 있는 것들이 많다. 지난 150년 동안의 직접적인 관측으로부터 얻어진 시계열 자료에 대한 spectral analysis 결과는 55-65년 주기를 보이고 있으며, 지난 1500년 동안의 합성된 지상표면기온에 대한 통계분석도 이와 유사한 55-60년의 주기를 나타내고 있다. 이러한 결과는 자연상태에서의 변이(natural variability)가 주기적으로 나타나고 있음을 보여주는 실례라고 할 수 있다.

지역적으로 단기간 혹은 십수 년 주기로 발생하는 개별적인 기후사건은 해양생태계에 심각한 영향을 미치고 있다. 비교적 짧은 주기를 가지고 나타나는 현상으로는 3-5년의 주기를 가지고 발생하는 엘니뇨현상이 있는데, 열대동부태평양 상층부에 평소보다 2-5도 온난한 해수가 세 계절 이상 지속적으로 존재하는 현상을 말한다. 한편 한 지역에서 비슷한 기후가 일정기간 동안 지속되다가 다른 기후로 바뀌고, 이러한 교대 현상이 반복된다는 사실은 학계에서 잘 인식되어 있다. 북태평양에서는 십수 년 및 수십 년 동안 지속되던 기후상태가 갑자기 바뀌는 기후체제변화현상(climate regime shift)이 보고되었는데(Francis and Hare, 1994 ; Beamish et al., 2000 ; Hare and Mantua, 2000), 과학자들은 아직 태평양 전체에서 발생하는 대표적인 기후현상(즉, 엘니뇨와 기후체제변화 현상)을 기후모델에서 효과적으로 재현하지 못하고 있다. 새로운 기후에 의하여 형성된 새로운 해양환경은 생태계 내의 먹이연쇄 구조를 변형시킬 것이며, 궁극적으로 각 해양에서의 생산력에 변화를 유발할 것이다. 이는 해양이

생산할 수 있는 수산자원의 양(혹은 해양생태계가 지탱할 수 있는 총 자원량, 즉 해양의 환경 수용력(carrying capacity))이 새로운 환경에 따라 다시 정해짐을 뜻한다.

### Ⅲ. 기후변화에 따른 수산자원의 변동

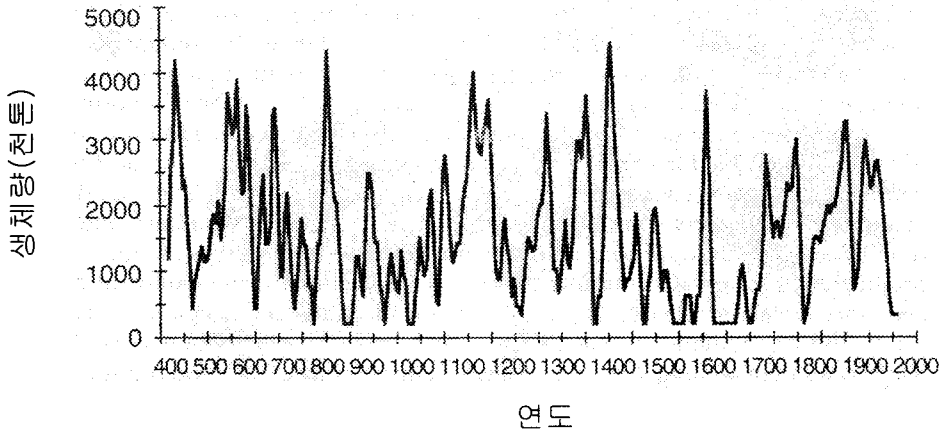
비교적 최근까지 해양수산자원의 증감상태와 기후를 연관지으려는 시도는 무모한 일이라고 생각하였다. 이 분야의 연구에서 가장 커다란 걸림돌은 우리가 기후라는 환경조건을 예측하기 힘들다는 것이었다. 실제로 현재의 과학수준은 단지 단기간의 기상현상만 예측할 수 있을 뿐이다. 하지만 인간활동에 의한 최근의 지구온난화 경우를 제외한다면 기후현상이 대체로 주기를 가지고 반복되고 있다는 사실이 밝혀졌으며, 과학자들은 어류개체군의 풍도변화가 기후의 주기성과 어떠한 연관성을 가지고 있는지 관심을 갖게 되었다. 지난 10년 동안에 기후와 중요한 어종의 자원량 사이에 존재하는 관계를 규명하기 위한 연구활동이 부쩍 늘었지만 아직 기후라는 환경요인과 생물개체군이 증감하는 과정에 대해서는 상세히 밝혀지지 않았다. 본 단원에서는 과거의 역사시대의 자료와 최근의 어획기록을 통하여 수산자원의 양이 항상 변동하고 있다는 사실을 보여 주고, 그러한 변동이 기후의 어떠한 요소들과 커다란 상관관계를 가지고 있는지 살펴볼 것이다.

#### 1. 자연의 기록으로 본 수산자원의 변동

인류는 문명이 발달하기 이전부터 수산자원을 이용하여 왔다. 인류는 상업적 어업 혹은 유희적 낚시활동을 통하여 자연상태에 있는 야생동물을 포획하여 왔으며, 어업활동은 인류가 유일하게 남겨 놓은 사냥행위이다. 그러므로 어업활동의 강도에 따라 수산자원의 양은 변화하고 있는데, 일례로 최근에 수산식품에 대한 수요가 늘고 어로기술이 혁신됨에 따라 지구상의 곳곳에서 남획에 의한 수산자원의 고갈현상이 발생하고 있다. 하지만 여러 가지 증거에 의하면 자연적인 요인에 의해서도 수산자원은 심한 변동을 보여왔다. 인간의 어획통계가 기록된 것은 불과 100년에 지나지 않으므로 과학자들은 어획자료가 아닌 자연의 기록에서 수산자원의 변동양상을 파악하려고 노력하고 있다.

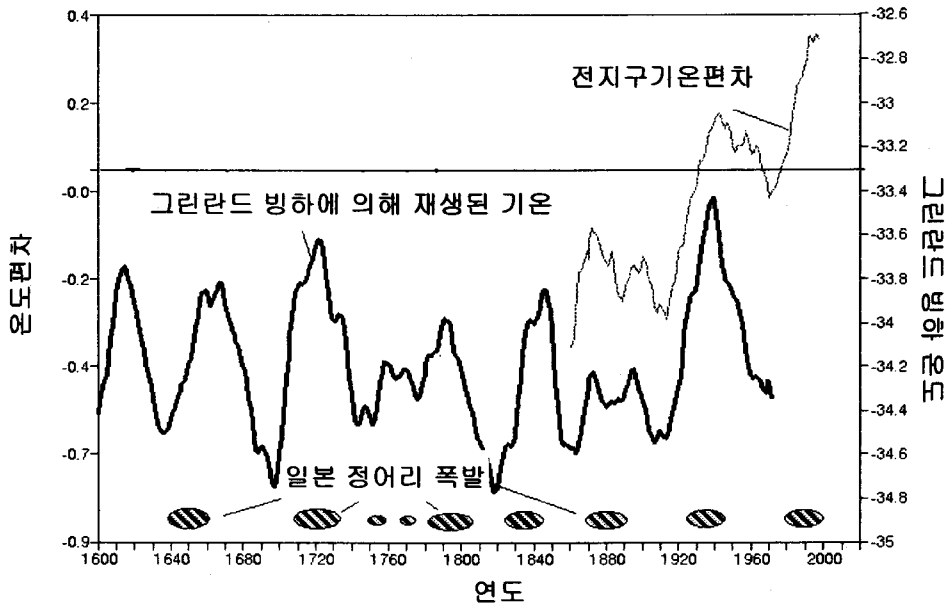
무산소 환경조건이 형성된 해역에서 퇴적물이 쌓일 때 그 퇴적물에 생물체의 사체가 함께 묻힌다면, 이는 생물체의 번성에 대한 기록을 보관하는 좋은 창고 구실을 하게 된다. 캘리포니아 앞바다의 퇴적층에는 계절적으로 무산소 조건이 형성되는데, 해양의 소형표층어류로부터 떨어진 비늘이 썩지 않고 퇴적층에 보관되고 있다(Baumgartner et al. 1992). 이 퇴적층에

서 정어리와 멸치의 비늘을 발견하고 그 수를 헤아림으로써 어류의 자원량을 유추하였다. 그들의 연구결과에서 나타난 비늘의 수효는 어업의 기록이 있었던 20세기 초반과 중반의 어업의 성쇠를 그대로 반영하고 있다. 즉 이 해역에서는 1930년대에는 정어리 어업이 활발하였고, 1950년대에는 정어리 자원이 거의 발견되지 않았는데 지층에서 발견된 비늘의 수는 이러한 경향을 나타낸다. 또한 이 해역에서 본격적인 어업활동이 수행된 것은 20세기에 들어와서이지만 이미 지난 1700년 동안 정어리와 멸치자원은 이 해역에서 성쇠를 반복하고 있었다(그림 2). 이 그림이 제공하는 주요한 결론 중의 하나는 이 해역에서 남획에 의한 자원 고갈현상이 없었던 1900년대 이전에도 수산자원은 자연적인 현상에 의하여 성쇠를 반복하고 있었다는 것이다.



〈그림 2〉 캘리포니아 앞바다 지층에서 발견된 비늘로부터 추정된 정어리 자원량

일본 연대기는 지난 400년 간의 정어리 풍도에 관한 역사적 정보를 포함하고 있는데, 일본 해역에 정어리의 출현 양상이 크고 작음에 따라 해안의 어촌이 생성되었다가 폐허가 되곤 하였다(Kawasaki, 1994). 1800년대부터 관찰된 기온으로부터 계산된 지구의 기온편차는 그린란드 빙하로부터 재생된 기온과 같은 경향을 보이고 있으며(그림 3), 이러한 결과는 빙하 자료로부터 재생된 기온의 경향을 지구기온의 변화 경향으로 볼 수 있게 한다. 지난 400년 동안의 기온의 편차와 일본 앞바다의 정어리 자원량과 비교하니 기온이 비교적 높았던 시기에 정어리 자원이 증가하였으며, 지구가 추웠던 기간에는 정어리 자원이 자취를 감추었던 것으로 나타났다. 그리고 정어리 자원 성쇠는 주기성이 있으며, 대략 60년의 주기를 가지고 있었다(Klyashtorin, 2001).



〈그림 3〉 지난 400년 간 주기적인 기온변동과 일본정어리의 대번성

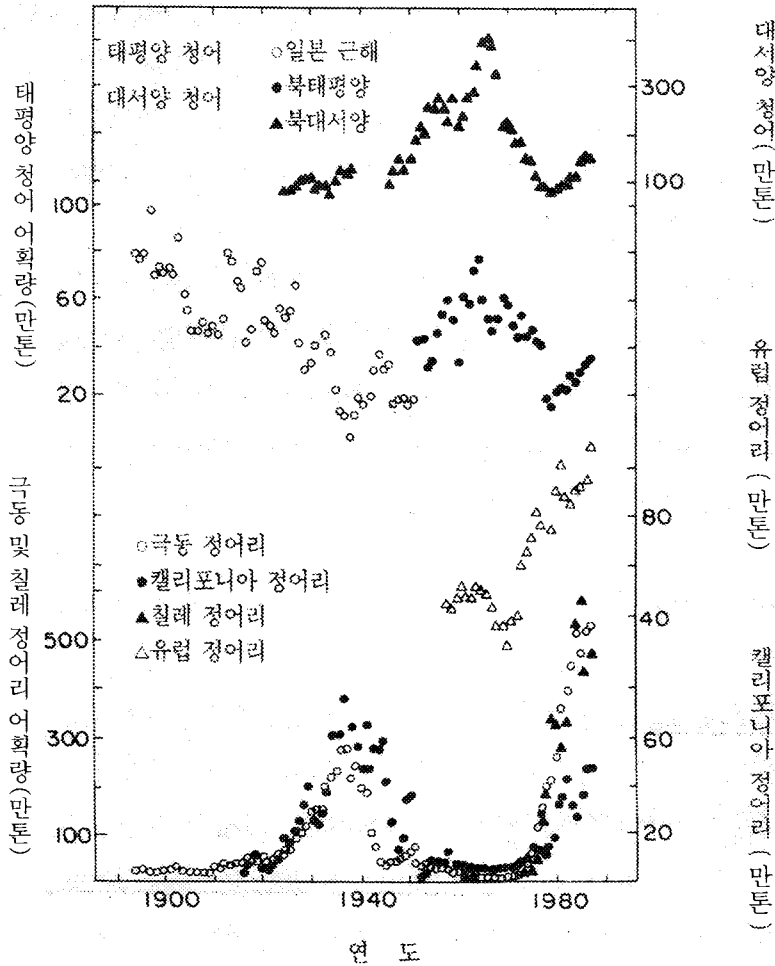
## 2. 어업자료에 의한 어류의 성쇠

어업기록에 의하면, 한 해역에서 어떤 어종이 번성하였을 때 그 번성이 영구적으로 지속되는 것처럼 보이지는 않는다. 지난 20세기의 후반기이래 베링해를 포함한 북태평양에서 명태가 많이 어획되고 있지만 40년 전인 1960년에만 해도 이 해역에 명태가 그렇게 번성하지는 않았었다(김, 1990). 또한 우점종의 교대현상도 현저한데, 해역 내에서 정어리와 멸치의 교대현상은 세계의 여러 해양에서 보고되었다. 1900년대 이래의 청어와 정어리 어업자료를 분석하면 매우 재미있는 현상이 발견된다. 우리 나라에서는 1930-40년대에 정어리가 많이 어획되었으나 그 이후에 원인모르게 자취를 감추었다. 그러나 1970년대 후반부터 다시 정어리가 늘기 시작하였으며, 우연의 일치인지 지구 전체를 지배하는 자연현상인지 모르지만 세계 곳곳에서 정어리 자원이 거의 같은 시간에 폭발적으로 증가하는 것을 볼 수 있다(그림 4). 지리적으로 격리되어 있는 세계의 정어리 자원(즉, 한국과 일본의 정어리, 캘리포니아 정어리, 칠레 정어리, 유럽 정어리)은 모두 거의 같은 시기에 증가하였으며 그리고 동시에 쇠퇴하는 양상을 보이고 있다.

한편 대서양 청어와 태평양 청어도 거의 같은 시기에 성쇠하고 있었음이 발견되는데 공교롭게도 청어의 성쇠와 정어리의 성쇠가 정반대임을 알 수 있다(김, 1994). 이러한 자원량의 변화는 부분적으로는 어업활동에 기인한 이유도 있지만 일반적으로는 자연현상이라고 받아



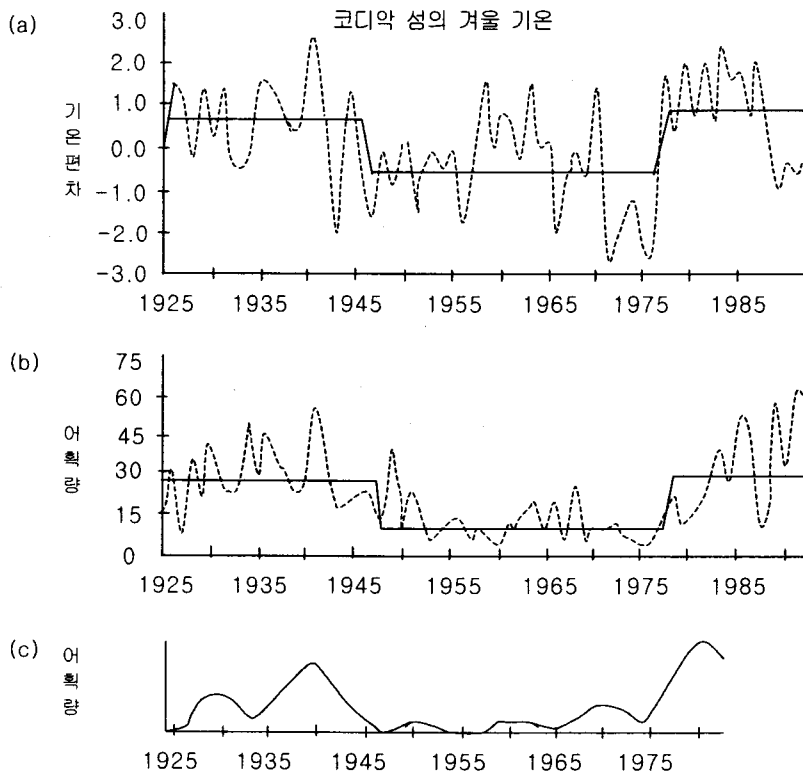
들여진다. 아직 자연의 어떠한 기작이 이렇게 어류의 번성을 좌우하고 있는지 잘 모르지만 전 지구적인 조절이 생태계에 작용하고 있는 듯이 보인다. 즉 지구의 평균 기온과 정어리, 청어자원 사이에는 분명한 연관관계가 있는 것 같은데, 지구가 따뜻할 때(1930-40년대, 1970년대 이후, 그림 1 참조)는 온수성 어종인 정어리가 많이 어획되는 대신 냉수성의 청어가 적게 잡히고, 기온이 낮을 때(1950-60년대)에는 그 반대현상이 나타난다.



<그림 4> 세계의 정어리와 청어의 연도별 어획량

### 3. 북태평양에서의 기후도약과 연어 어획

북태평양은 매우 광활하기도 하지만 수산생물도 풍부히 서식하고 있어 세계에서 가장 풍요로운 해양에 속한다. 학자들은 1960년대와 1980년대의 해양의 수온, 플랑크톤의 양, 어획물의 조성 변화 등을 비교함으로써 북태평양 생태계에 차이가 있었음을 알 수 있었고, 더 나아가 기후의 변동과 같은 커다란 변화가 있었음을 유추하였다. 그리고 이러한 변화는 점진적으로 진행된 것이 아니라 순간적으로 바뀌는 ‘기후의 체제변화현상’ 혹은 ‘기후의 도약현상’이라는 것이다. 20세기의 초반부터 기록된 기후에 관한 자료를 분석한 결과, 북태평양에서는 1940년대 중반부터 갑자기 고기압이 발달하여 비교적 한랭한 기후가 형성되었었고, 변동된 기후가 수십 년 동안 지속되었음이 발견되었다. 그러다가 1976/1977년 겨울에 갑자기 저기압 세력이 확장하여 따뜻한 해역으로 변화하였다(그림 5). 이러한 기단의 변화로 1977년 이후에는 이 해역에서 폭풍의 빈도가 잦아졌으며, 더 나아가 해양의 생산력 및 생태계의 구조 개편이 진행되었다(Francis and Hare. 1994).



<그림 5> 시대별 기온, 연어 어획량 편차

(a) 알래스카만 코디악 섬의 기온, (b) 알래스카의 곱시연어 어획, (c) 북한의 곱시연어 어획

북태평양에서 발생한 급격한 기후변화는 해양생태계를 구성하고 있는 플랑크톤과 어류의 생산력에도 많은 영향을 미쳤다. 특히 이 해역에서의 연어 어획량은 1920-40년대에는 많았다가, 1950-70년대에 큰 폭으로 줄어들었다. 하지만 1977-78년을 전후로 하여 다시 크게 증가하였으며(그림 5), 이 증가 양상은 기후도약의 변화양상과 거의 같게 나타났다. 또한 이 해역과 멀리 떨어진 한반도의 북한쪽 해역에도 연어류가 자생하고 있어 20세기 초반부터 어획되고 있었는데(로춘봉, 1986.), 북한 해역에서의 연어생산 증감 상태는 북태평양과 거의 같은 유형을 보이고 있다. 이와 같은 사실은 비록 두 개체군이 서로 떨어져 있어 혼합되기는 어려웠지만 이들 개체군을 지배하는 공통된 기후환경이 존재하고 있음을 암시하는 것이다.

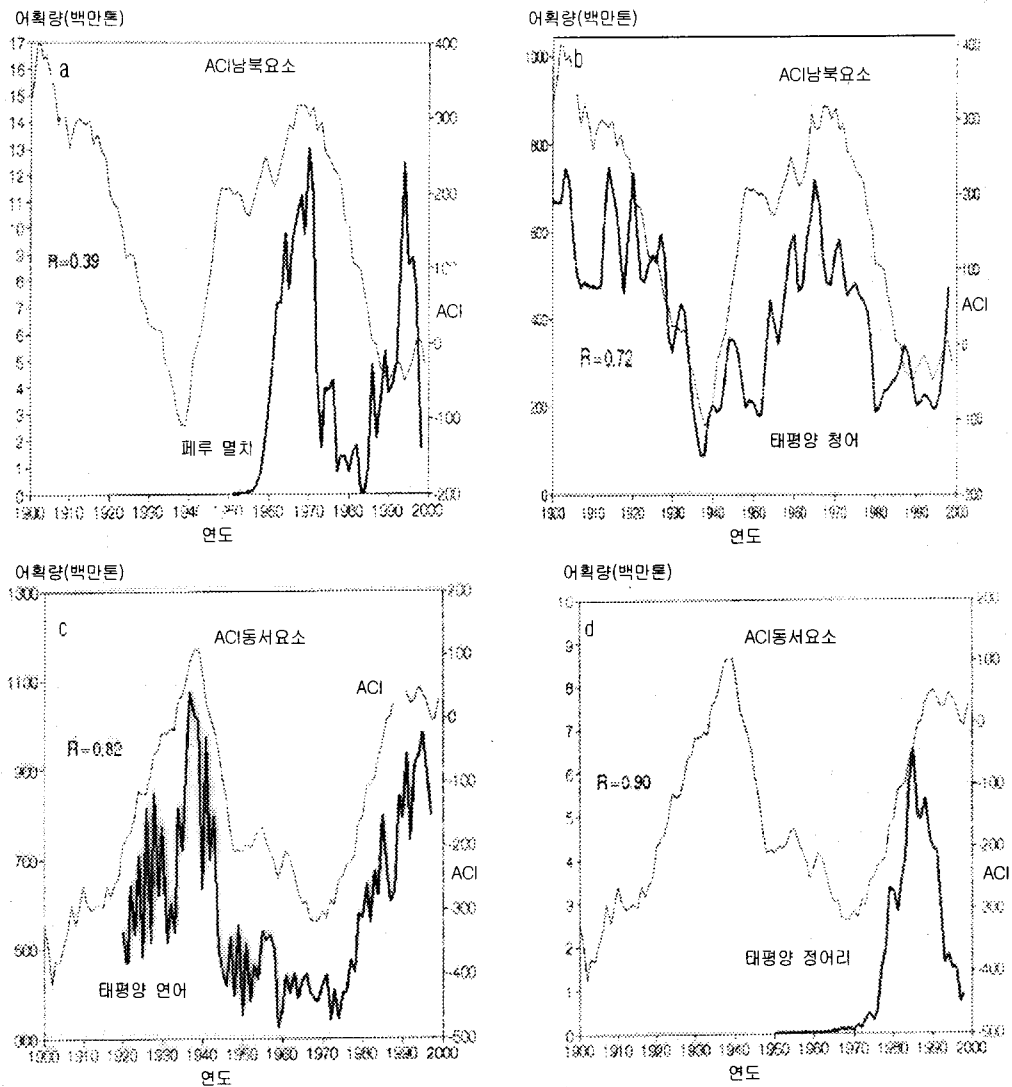
#### 4. 엘니뇨와 수산자원의 변동

페루 앞바다에서는 몇 년에 한 번씩 바다 깊은 곳의 해수가 해양의 표면으로 용승되는 작용이 정지하면서 엘니뇨가 발생된다. 이 결과 태평양의 동부해역의 수온이 현저히 상승하고 있으며 특히 아메리카 대륙의 서해안을 따라 이상 고온의 해수가 나타난다. 엘니뇨는 용승류의 활동을 억제하여 해양의 일차생산력을 낮추는 원인이 되기도 하며, 이들을 먹이로 하는 생태계의 중위 및 상위 포식자(즉 동물플랑크톤, 어류, 조류, 포유류 등) 개체군 변동과 성장, 번식, 가입 등에 영향을 미쳐 심할 경우에는 기아의 요인에 의한 어류와 바닷새의 사망이 초래된다. 특히 대표적인 실례로 1970년대의 페루 해역에는 멸치자원이 번성하여 전 세계 해양 어류 어획량의 20%를 차지할 정도였지만 몇 번의 강력한 엘니뇨를 겪은 이 해역에서는 멸치자원이 급감하였고, 아직도 자원량이 예전의 수준으로 회복되지 않고 있다(Barber and Chavez, 1986.).

수온의 변화에 따라서 생물체들의 분포 범위가 달라지는데 엘니뇨가 발생하는 해에는 열대 생물들이 중위도 및 고위도에까지 분포하게 만든다. 변화된 환경은 어류의 성장에 영향을 미치는데 종마다 다르게 나타나기도 하며 같은 종이라고 하더라도 지역에 따라 긍정적인 혹은 부정적인 효과를 나타내기도 한다. 엘니뇨가 발생하여 표층수온이 증가하면 수온약층이 깊어지고 이에 따라 식물플랑크톤도 깊이 분포한다. 이 결과 연안에 서식하던 어류가 찬물을 찾아 해안을 따라 남북으로 이동하거나, 이동을 할 수 없는 생물들은 높아진 수온과 먹이의 결핍으로 죽게된다. 또한 남북으로 이동한 어류라고 하더라도 수온의 급격한 차이가 발생할 때에는 어류가 사망할 수 있다. 또한 엘니뇨에 동반하는 많은 강수량은 해안 가까이에 서식하는 어류들에게 영향을 준다. 호우는 염분을 감소시키며, 탁도(turbidity)를 증가시킴으로써 어류의 생존에 나쁜 영향을 미치게 된다.

5. 기후의 지수와 수산자원의 변동

기단의 흐름을 나타내는 대기순환의 세기는 방향에 따라서 두 요소(즉, 남북 혹은 동서)로 분할할 수 있으며, 기후의 지수로서 표시할 때에는 대기순환지수(Atmospheric Circulation Index: ACI)를 이용한다. ACI의 방향성은 주요 어종의 장기간 변동과 높은 상관관계를 보이고 있다( $r=0.7\sim 0.9$ , 그림 6). 즉 페루 근해의 멸치자원의 변화는 ACI 남북요소의 변화와 유사하며, 같은 생태계 내의 정어리 자원의 변화와 상반된 현상을 보이고 있다.



〈그림 6〉 대기 순환지수의 방향성과 수산자원의 변동  
 (a) ACI 남북요소와 페루 멸치, (b) ACI 남북요소와 태평양 청어  
 (c) ACI 동서요소와 태평양 연어, (d) ACI 동서요소와 태평양 정어리

‘그림 1’과 비교하여 생각하면, 정어리는 지구기온이 상승하고 대기순환의 동서방향이 우세한 시기에 증가하지만, 멸치의 최대치는 지구기온의 하강기와 대기순환의 남북방향이 우세한 시기에 나타난다. 이것은 이 두 종이 서로 다른 기후 조건을 좋아하기 때문인 것 같다. 이처럼 ACI의 방향성에 상응하여 변화하는 수산자원이 많은데 한국과 일본 근해의 정어리 자원, 캘리포니아 앞바다의 정어리 자원, 북태평양 서식 연어자원 등은 ACI의 동서 방향 요소와 대서양 대구, 대서양과 태평양의 청어 등은 ACI의 남북 요소와 같은 유형으로 변화한다(그림 6).

엘니뇨를 나타내는 남방지수(Southern Oscillation Index : SOI), 북태평양의 변화를 나타내는 북동태평양기압지수(Northeast Pacific Pressure Index : NEPPI) 등과 같은 지역적인 기후의 지수가 지구전체의 지수보다 어획량과의 상관관계가 더욱 높을 것으로 생각되지만, 중요한 태평양 어종들은(연어, 일본 정어리, 캘리포니아 정어리, 페루 정어리, 명태, 칠레 전갱이) 지역적인 지수보다는 지구전체 기온편차 혹은 ACI와 같은 지구의 기후지수와 밀접한 관련이 있는 것처럼 보인다. 하지만 이것은 지역적인 지수가 덜 중요하게 이용된다는 것은 아니며, 향후 기후와 어획생산 간의 관계에 대한 상세한 연구가 필요함을 의미한다. 예를 들면, 최근 80년 동안의 곱사연어 어획은 지구 전체의 기후지수보다는 지역적인 지수인 알류산 저기압지수(Aleutian Low Pressure Index)와 더 상관관계가 좋았으며(Klyashtorin, 1997.), 미국 서해안을 따라 서식하는 여러 어종들은 엘니뇨의 영향을 받고 있는 것으로 보인다.

#### IV. 우리 나라 인근해역에서의 환경과 수산자원 변동

우리 나라의 동, 서, 남해는 생태학적으로 각기 독특한 특징을 가지고 있다. 동해는 대륙붕이 극히 제한되어 있으며, 평균 수심 2000m가 넘는 3개의 해분으로 구성되어 있고, 한류와 난류가 교차하므로 다양한 생물상들이 이 곳에서 발견된다(Chang et al., 1998/1999). 동해의 경계는 대부분 육지와 섬으로 막혀 있으며, 이 곳에서 발생하는 해양현상들이 큰바다에서의 현상과 비슷하다고 하여 작은 대양이라고 불리고 있다. 남해는 쓰시마 해류가 동해로 들어가는 통로의 역할을 하는 비교적 따뜻한 바다로서 멸치, 고등어, 정어리 등의 소형해양표층어류(small pelagic fish)가 이 해역의 주요 구성원이다(Kim and Kang, 2000.). 많은 섬들과 얕은 수심은 천혜의 어류 보육장을 형성하고 있으며, 연안역에는 양식업이 잘 발달되어 있다. 하지만 몇 년 전부터 적조현상(red tide)이 두드러지게 심해지고 있다. 서해는 전 해역이 100m보다 얕은 대륙붕에 속하며, 육상으로부터의 유기물 및 담수의 유입이 비교적 많다. 해양의 일차생산력이 높기 때문에 많은 이동성 어류들의 산란 및 성육장이 형성되고 있지만 최근에

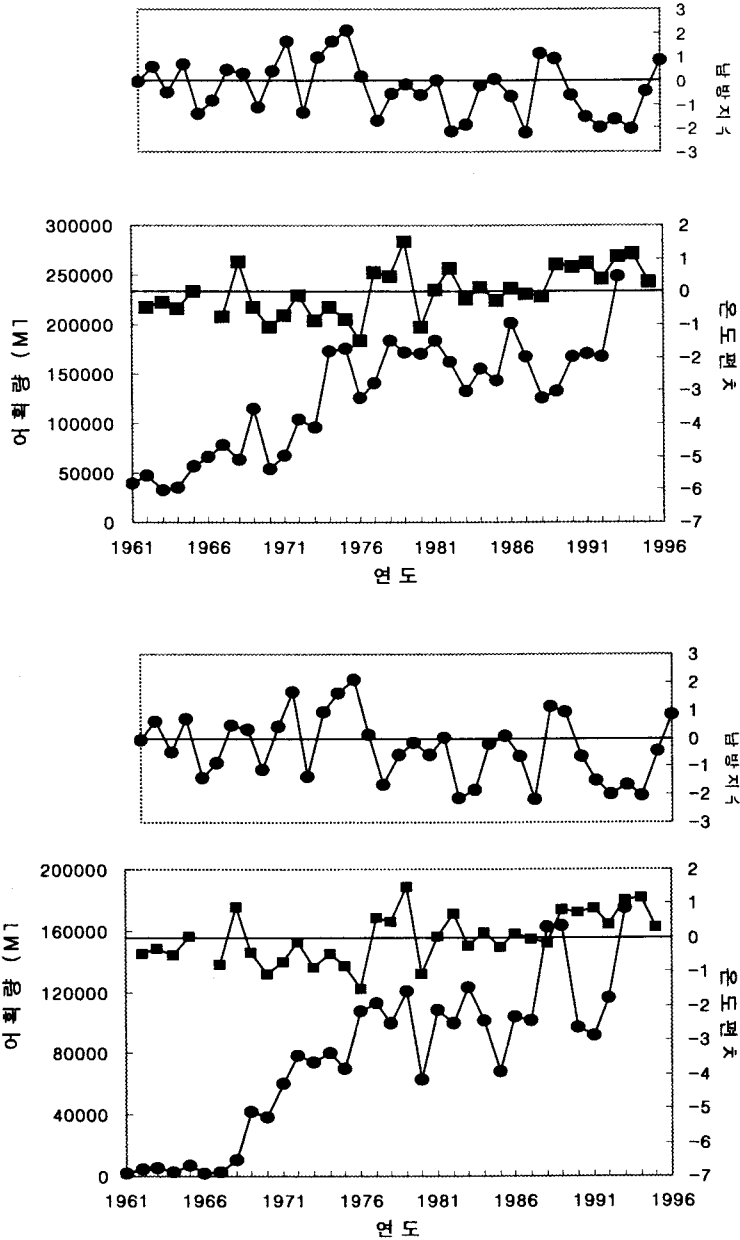
와서는 어류자원에 대한 남획과 더불어 해안 간척, 공해물질의 과다한 배출로 어장으로서의 가치를 상실해 가고 있는 중이다(Kim and Khang, 2000.).

대체로 동해에서는 난류와 한류가 만나고 있어 생산력이 높으며 각종 수산자원이 풍부하게 서식하고 있다(김과 강, 1998.). 1970년대 중반을 분기점으로 하여 동해의 해양생태계에도 많은 변화가 발생하였다. 봄철 표층혼합수심(MLD)은 1961-1975년 동안(평균 18.2m)이 그 이후의 1976-1990년(평균 26.1m)에 비하여 얇고 변화가 적었다. 따라서 전반부의 얇은 혼합층은 그 이후의 시기보다 상대적으로 플랑크톤의 높은 풍도를 야기시켰으며, 이러한 변화는 동해의 해양유용생물자원의 가입과 생체량에도 영향을 미치는 것으로 생각된다. 아직 기상 및 해양환경과 어류 자원량의 증감에 대한 기작은 밝혀지지 않았지만 1970년대 중반부터 온수 어종인 쾡치의 어획량이 줄어든 반면 정어리 어획량은 증가한 현상이 발견되었다. 또한 냉수 어종인 명태와 도루묵이 1970년대를 중심으로 하여 증감현상이 교대로 발생하였던 것이 보고되었다. 명태, 정어리, 쾡치의 어획량은 NEPPI와 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 동해 연안역 생태계에서 소나무의 성장이 매우 좋았던 1969, 1973, 1979, 1983, 1987년 중에서 1979년을 제외하고는 엘니뇨 현상이 5개월 이상 지속된 해로 판명되어 동해는 북태평양의 기후와 엘니뇨의 영향을 동시에 받고 있는 해역이라는 것을 알 수 있다(Kang et al., 2000.).

남해의 주요 어종인 멸치와 고등어는 모두 소형표층성어종으로서 기후의 변동에 민감하게 반응하는 어종이다. 이들은 봄에 산란하고 치어들은 여름과 가을에 급격한 성장을 하기 때문에 늦가을부터는 상업적 어업이 가능한 크기가 된다. 멸치, 고등어는 1970년대 중반부터 어획량이 급격히 증가하였으며 1990년대까지 높은 어획량이 유지되었다. 이들 어획량의 증가는 먹이생물인 동물플랑크톤의 증가와 높은 연관성이 있으며 엘니뇨의 영향을 간접적으로 받고 있는 듯이 보인다(Kim and Kang, 2000.). 즉, SOI가 12월 남해의 표층수온(Sea Surface Temperature, SST)과 높은 음의 상관관계( $r=-0.473$ ,  $p<0.01$ )에 있으며, 겨울철 SST는 멸치와 고등어의 어획과 높은 상관관계가 있는 것으로 분석되었다( $r=0.419$ ,  $0.436$ )(그림 7). 이 결과는 적도지방에서 발생한 엘니뇨가 시간이 지남에 따라 우리 나라 남해 해역의 수온에도 영향을 미치고 있으며, 상승된 수온은 동물플랑크톤의 번성에 긍정적으로 작용하여 결과적으로 어류의 성장에 도움을 줄 수 있다는 논리를 가능하게 한다.

참조기는 서해의 깊은 물에 서식하는 어종으로 태어난 지 1년 이상이 되면 어업의 대상이 된다. 1970년부터 1988년까지의 수온 및 염분의 변동과 참조기 어획량과의 관계를 최신 통계기법을 이용하여 분석한 결과, 평균 수온보다도 따뜻하고 안정된 해양환경에서 참조기가 태어난다면 그 해에 태어난 참조기 개체군의 사망은 감소하게 되어 1년 후의 어획량이 커지게 되며(즉, 강연급군(strong year-class)이 됨), 그 반대의 경우는 약연급군이 되는 것으로 나타

났다(Kim et al., 1997).



<그림 7> 남해에서 SOI, 겨울철 SST의 연평균 anomaly와 주요어종  
(a) 멸치, (b) 고등어의 물리-생물의 상호작용

## V. 변화될 수산생태계 및 향후의 관리 방향

지구가 온난화되고 있다는 사실을 가정하였을 때에도 앞으로 나타날 해양 및 생태계의 반응에 대해서는 여러 가설이 있다. Bakun(1990)은 지구온난화가 대기의 흐름을 강화하여 용승현상이 활발해 질 것이며, 그 결과 해안 가까운 곳의 유광대에 영양염이 많이 유입되어 플랑크톤과 어류의 생물량이 증가할 것이라고 예견하였다. 그러나 Hsien and Boer(1992)는 정반대로 지구온난화는 대기순환을 약화시키고 궁극적으로 해양의 생산력을 감소시킬 것이라고 주장하였다. 기후의 변동은 대양 및 연해생태계에서의 급격한 변화를 유발하는데, 생태계 내의 어류자원의 역학에 대한 변화를 예측하기 위한 여러 시도가 있었으나 아직 두 요인 사이의 관계를 설명하기에 충분하지 못하다.

### 1. 세계 어획량의 변화

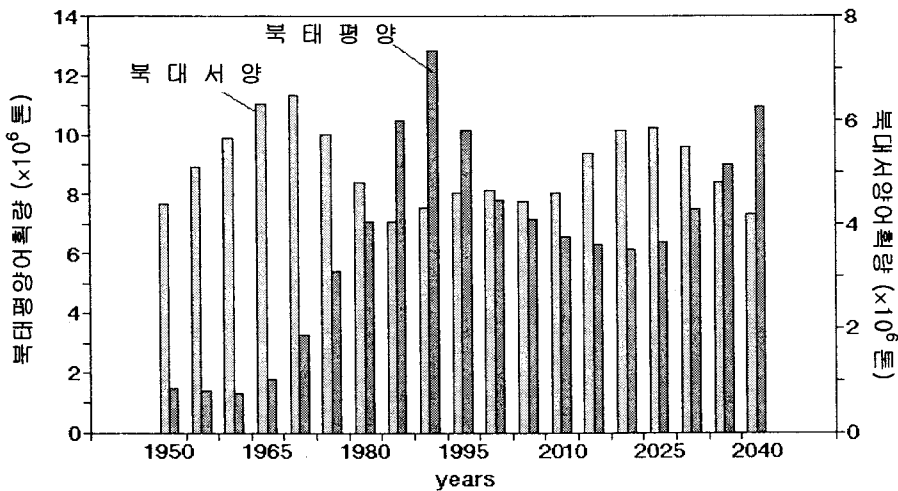
현재 지구의 대기순환에 대한 양상은 남북방향의 세기가 감소하고 동서방향의 세기가 증가한 상태를 나타내고 있다. 만약 '그림 6'에서 본 것처럼 남북요소와 동서요소의 증감에 따라 번성과 쇠퇴하는 어종이 다르다면 우리는 55-65년 기후주기를 기본으로 하여 각 대양에서의 어획량을 예측할 수 있다(Medley and Klyashtorin, 2001. unpublished manuscript.). 북태평양에서는 2020년대까지 계속 어획이 감소할 것이고 같은 기간에 북대서양에서는 늘어날 것으로 예상되는데 구체적으로는 2000-2015년 동안의 대서양과 태평양 청어, 대서양 대구, 남아프리카 정어리, 페루와 일본 멸치의 어획량은 약 200만 톤 증가할 것이고 그 이후는 감소할 것으로 예상된다. 같은 기간 동안에 일본, 페루, 캘리포니아, 유럽 정어리, 태평양 연어, 명태, 칠레 전갱이는 약 400만 톤 감소할 것이고 그 이후에 늘어날 것이다. 이 결과 북태평양에서의 어획생산은 150-200만 톤 감소하며, 북대서양에서는 170-200만 톤 늘어날 것이다(그림 8).

### 2. 지구온난화에 의한 북태평양 수산자원의 분포변화

태평양 연어는 대양의 섭이장으로부터 그들이 태어난 강으로 모천회유하는 습성을 가진 것으로 알려져 있지만 산란장으로 가는 길을 찾지 못하고 다른 곳을 헤매는 것도 약 10% 정도 된다고 알려져 있다(Groot and Margolis, 1991.). 연어가 이렇게 헤매고 다닌다는 사실은 그들이 새로운 환경에 적응할 수 있는 능력을 갖고 있음도 보여주는 것이기도 하다. 즉 과거의 빙하기/간빙기와 같은 대규모의 기후변동이 있었을 때 그들은 서식처를 축소하거나



넓혔을 것이다. 최근 Babaluk et al.(2000)은 북극해에 면한 캐나다의 해안에서 홍연어와 곱사 연어의 출현을 처음으로 보고하였고 이 보고는 연어의 세력확장을 보여주고 있다. 그리고 1987년 Great Bear Lake에서 어획된 은연어에 대한 보고는 그 이전의 Prudhoe Bay (Alaska)에서 포획된 것보다 동쪽으로 1500km 확장된 것을 보이고 있다. 과거에는 북극에서 연어가 잘 발견되지 않았었지만 북극해의 해양이 온난해지면서 연어가 갈 곳을 못 찾고 이 곳에서 헤매고 있으며, 이 사실이 연어의 서식처 확장의 한 방법으로 생각되고 있다.



〈그림 8〉 주요 상업어종의 실제 어획량(1950-1998)과 예측 어획량 (2000-2040)변화 (Medley and Klyashtorin, 2001, unpublished manuscript)

해양수산자원의 변동을 예측하기 위해서는 기후의 변화가 해수의 성질과 해류의 흐름에 어떻게 작용하는지 먼저 알아야 하지만 아직 우리의 과학수준으로 기후변화 혹은 그에 따른 해양생태계의 변화를 정확하게 예측하기에는 어려움이 많다. 하지만 지구온난화가 진행됨에 따라 북태평양에서 확실하게 예상되는 수산자원의 변동은 아열대 어종의 번성과 아한대권 어종의 쇠퇴일 것이다. 특히 명태어업과 연어어업이 가장 심각하게 타격을 받으리라고 생각 되는데 북태평양 해류의 흐름에 변화가 생겨 명태와 연어가 서식할 수 있는 냉수권의 분포가 지금보다 훨씬 줄어들 것으로 보인다. 이에 따라 연어의 서식처는 북쪽으로 더욱 이동하게 되어 현재의 북태평양에서 베링해 혹은 북극해로 옮겨질 것이다. 마찬가지로 명태를 비롯한 대구, 베링해 가자미, 청어 등의 냉수성 어종은 베링해의 일부분에 그 분포가 국한될 것으로 보인다. 하지만 온수성 어종인 다랭이류는 그 세력이 지금보다 현저히 넓어질 것이다. 요즈음도 엘니뇨가 발생하여 수온이 따뜻하여지면 다랭이의 분포가 북쪽으로 확장되는데, 북태평양 전체가 지금보다 따뜻해진다면 다랭이의 분포는 매우 확장될 것이다. 또한 다랭이류 뿐만

이 아니라 정어리, 고등어 등의 온수성 표층어류들의 서식처도 지금보다 북쪽으로 북상하는 분포를 보일 것이다. 지난 10년 사이에도 고등어류 중에서 따뜻한 해역에 서식하는 망치고등어의 어획이 한국과 일본의 남부해역에서 크게 증가하였다(Hiyama, pers. comm. Seikai National Fisheries Research Institute).

### 3. 수산자원의 관리 방향

지구상에서 생물종이나 생태계가 조절되는 과정을 우리는 거의 알지 못한다. 우리가 아는 것은 기후가 먹이피라미트에서의 각 영양단계의 관계와 종별 생산력에 심각한 영향을 미칠 것이라는 점이다. 어류는 생존경쟁이 치열한 환경에 살면서 그들이 선호하는 서식처를 유지하는 한편 기후의 임의성(즉, 단기간의 환경변화)에 적응하도록 진화하여 왔다. 어떤 종이 새로운 환경에 적응하기 어려울 때에는 진화를 못하고 절멸하는 경우가 있는데 이것은 자연의 정상적인 과정이다. 하지만 어업이 극심한 환경에 처한 개체군의 적응능력을 감소시키는 경우도 있을 것이다. 어업은 생물종을 선택적으로 취하는데, 먹이연쇄의 최상위를 차지하는 종을 어획할 때 그 영향이 생태계에 어떻게 미치고 있는지 아직 잘 모르고 있다. 또한 인간의 활동이 극심한 기후변화에 대한 개체군의 적응능력을 감소시키거나 혹은 기후변화의 빈도나 강도를 증가시킨다거나 한다면(즉, 우리 인류는 온실기체를 발생시킴으로써 우리의 기후를 바꾸고 있음) 우리 인류의 행위는 현생종의 생존능력에 대한 중요한 요소가 된다.

기후가 어류개체군의 역학에 중요한 영향을 미치며, 향후 더욱 큰 기후의 변동으로 어획량 변동이 더욱 커질 것이라는 인식은 매우 중요하다. 어류 생산량에 영향을 주는 지구온난화의 영향은 온도, 강수, 바람, 해류, 해수면, 염분, 용승, 해빙, 자외선 등으로 이러한 비생물적 요소들은 기후변화에 의하여 영향을 받는다. 만약 남획이 감소한다면 온실기체의 증가는 해양생물의 증가에 기여할 수도 있다. 이러한 결론은 자연의 기후변동과 바람과 해류의 구조와 강도가 현재와 동일하다는 가정을 기초로하여 IPCC 2차 보고서에서 작성한 것인데, 생태계가 지리학적으로 변경되고 내부적으로 변화가 생긴다면 생물군의 분포와 풍도가 바뀔 것이다. 어류개체군에 대한 긍정적인 효과는 계절적으로 길어진 성장시기, 낮아진 겨울의 자연사망률, 고위도에서의 빨라진 성장률 등을 열거할 수 있는데 일부 해역에서의 생산력은 높아질 것이다. 만약 이러한 변화가 발생하면 몇몇 개체군이 새로이 나타나는 기회가 될 수도 있다.

기후변동에 따른 해양생태계의 모습을 예측한다는 것은 매우 어려운 일이다. 더 나아가 수산자원관리방안을 제시한다는 것은 더욱 어려울 것이다. 어류의 분포가 변화하고 국경을 넘나드는 회유 경로가 더욱 빈번하여 지면서 수산협정이 새로운 국면으로 접어들 것이며, 이 결과 어업은 더욱 불안정해 질 가능성이 있는 것이다. IPCC의 2차보고서에서는 현재의 어선

세력의 규모가 현존하는 자원량을 이용하는데 충분하다고 평가한다. 그러므로 미래에는 기후의 변동이 남획 영향보다 더욱 중요하게 인식될 것이라고 예견한다. 이처럼 지구온난화는 수산자원관리를 더욱 복잡하게 만들기 때문에 관심을 기울여야 하며 그렇기 때문에 더욱 사전예방적(precautionary)으로 수산자원을 관리하는 것이 중요하다. 본 논문에서 제시한 과거 자료에 대한 통계적인 분석방법은 기후변동과 생태계를 구성하는 각 요소 사이의 상관성을 파악할 수 있는 중요한 첫 걸음이다. 그러나 이러한 경험적인 접근방법으로는 기후의 변동이 어떠한 과정(process)을 거쳐 얼마나 심각하게 생태계에 영향을 줄 수 있는지 설명할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 따라서 향후에는 보다 과정-중심적(process-oriented)인 연구, 혹은 기작(mechanism)규명적인 연구를 추진하여야 할 것이다. 그리고 과정연구로부터 생산된 매개변수를 가지고 생태계의 변화하는 모습을 예측하는 모델링 연구를 활발히 수행함으로써 생태계와 유용생물자원을 관리하여야 할 것이다. 이러한 자원관리 개념은 과거 단일개체군 관리개념에서 다종관리(multi-species management)개념, 더 나아가 생태계 전체를 건강하게 보전하고 효율적으로 이용하자는 생태계 관리(ecosystem management)개념으로 발전해 가고 있다.

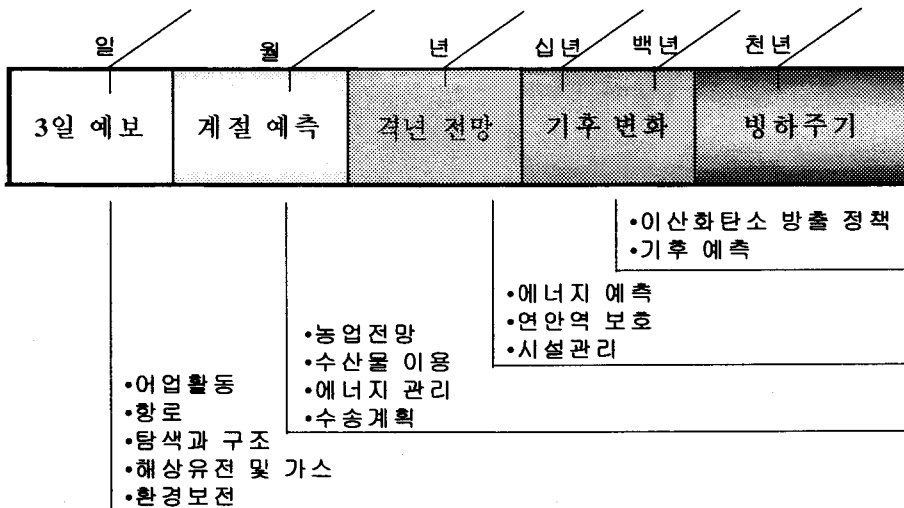
## VI. 끝내며 : GLOBEC 연구의 활성화

과거에 진행되었던 생태계의 현상을 정밀하게 재진단하고 과거에 있었던 기후의 변동이 생태계의 재편에 어떻게 영향을 미쳤는가를 파악할 수 있다면 미래에 닥쳐올 기후의 변동에 따른 생태계의 변동을 예상할 수 있으며 이러한 결과를 국가의 수산정책의 근간으로 삼을 수 있을 것이다. 이러한 국제해양학계의 분위기는 해양과학위원회(SCOR), 정부간 해양위원회(IOC), 국제생지권프로그램(IGBP)이 지원하는 국제 GLOBEC(Global Ocean Ecosystem Dynamics) 프로그램을 발족시켰으며, 세계 도처에서는 기후변동과 해양수산자원의 변동에 대한 연구계획이 활발히 진행중에 있다(IGBP, 1997; IGBP, 1999, 김, 2000).

GLOBEC 프로그램이 궁극적으로 추구하는 목표는 새로이 탄생될 해양생태계의 모습을 예견하자는 것이다. 아직도 많은 사람들이 GLOBEC을 과거에 존재하였던 여러 수산학 연구와 비슷한 프로그램이라고 생각하고 있지만 GLOBEC은 기존의 수산학 범주를 훨씬 뛰어넘는 포괄적인 프로그램이다. 즉 어류자원 혹은 동물플랑크톤의 번성에 영향을 미치는 생태계의 각 요소와의 상호작용과 각 요소들에게 영향을 미치는 외부의 환경요소를 파악하고 그 생태학적 과정을 규명함으로써 새로운 환경의 변화가 야기될 때에 만들어 질 수 있는 생태계의 모습을 예측하는 것인데 GLOBEC 과학계획(IGBP, 1997)에서는 “전 지구해양생태계 및 주요 해양생태계의 구조와 기능에 대한 이해를 증진시키고 물리적 요인에 대한 해양생태계

의 반응을 더욱 잘 이해함으로써 지구적 변화에 대한 해양생태계의 반응을 예견할 수 있는 능력을 함양함”이라고 정의하고 있다. IPCC 제3차 보고서에서는 무엇보다도 해양서식지의 환경수용력에 대한 영향이 강조되었다(IPCC, 2001). 해양생태계가 안정되어 있다는 가정이 더 이상 받아들여지지 않는다는 것을 강조하였고, 실제로 과학자들은 미래의 자원량 평가에 대한 성공은 주로 해양생태계 역학에 대한 기후변동의 영향을 예견하는 능력에 달려 있다고 생각하게 되었다. 아울러 우리가 개별 종의 풍도를 조절하는 자연의 과정을 이해한다면 생태계 수준에서 기후효과의 모델 결과를 해석하는데 도움이 될 것이다. 우리가 왜 태평양 정어리가 변동하고, 명태가 어떠한 이유로 북태평양에서 번성하고 있는지 그 기작(mechanism)을 이해할 수 있다면 우리는 어떻게 수온의 변화가 혹은 해류흐름의 변화가 이들 종과 다른 종의 풍도에 영향을 미치는지 정확하게 예측할 수 있을 것이다.

지구온난화의 가장 중요한 영향 중의 하나가 수십 년 규모 변동의 특성을 바꾸는 것이라고 할 수 있다. 더욱 빈번한, 더욱 극단적인 변화는 어류역학, 수산업, 수산자원관리에 심대한 영향을 미칠 것이다. 만약 지구온난화가 수십 년 규모의 변동을 유발하는 기작에 영향을 미쳐 해양환경의 변화가 잦아지고 변화의 폭이 커지거나 속도가 빨라진다면 해양수산자원의 규제나 관리에서 중요한 요소가 될 것이다. 이러한 결과는 해양에서의 어업뿐만 아니라 양식업에 대한 직접적인 우려로 나타날 것이다. 예를 들면, 우리 나라처럼 중위도권에 위치한 해역에서는 지역에 따라 냉수성 어종과 온수성 어종을 양식하고 있는데 연안역 환경이 온난화됨에 따라 냉수성 어종의 양식 및 자원육성 방침에 심각한 문제를 야기시킬 것이다. 이처럼 우리가 해양-대기 간의 상호반응을 예측할 수 있다면 환경의 변화에 적절하게 대처하는 정책을 수립하여 인류의 활동에 커다란 도움이 될 것이다(그림 9).



<그림 9> 해양-대기 예측능력 향상에 따른 이득

지구 표면의 70%를 해양이 차지하고 있기는 하지만 해양의 대부분은 생산력이 낮은 원양(oceanic area)이다. 육지에 면한 얕은 바다, 특히 수심 200 미터의 대륙붕은 해양 전체의 10% 정도에 해당된다. 하지만 식물플랑크톤에 의한 해양의 생산력은 대륙붕 지역이 훨씬 높기 때문에 연안역에서 생산하는 유기물의 양은 전체 해양의 약 30%를 차지하고, 이를 근간으로 하는 생태계의 먹이망도 대륙붕에서 잘 발달되어 있다. 따라서 동물플랑크톤 및 어류도 연안역에서 풍부하며, 수산자원의 경우 세계 총 어획량의 90%가 대륙붕 지역에서 어획되기 때문에 해양수산자원 연구는 주로 대륙붕 지역에서 수행되고 있다. 우리 나라가 위치한 북서태평양은 대륙붕이 넓게 발달되어 있으며 세계에서 어류생산량이 가장 많은 해역이다. 해양어류 어획의 30% 이상이 이 해역에서 생산되고 있으며, 단위면적당 어획량도 생산력이 비교적 높다고 하는 북대서양 해역보다 두 배 정도 높다. 따라서 기후가 변화함에 따라 우리 나라 부근 해역의 물리적 성질, 생태계, 수산자원이 어떻게 반응하는지 파악하는 것은 중요하며, 우리 해역에서의 변화를 나타내는 지수를 발견하여 기후의 변화가 한반도 부근 어류의 풍도, 분포, 산란, 생존, 성장 등에 미치는 영향을 연구하여야 한다.

지구의 기후변동에 의한 영향은 어업종의 구성을 변화시키고 있으며, 새로운 국제어업질서는 더 이상 우리 어업을 안전지대에 머물지 못하게 하고 있다. 이와 같은 상황에서 국가의 수산정책은 더욱 냉철하여야 하고 과학적이어야 한다. 기후변동에 따른 수산자원 변동은 먼 미래의 일이 아니며 이미 현실의 문제로 대두되어 있다. 우리 나라의 해양도 급격히 변화하고 있는데 바다의 환경변화에 매우 빠르게 반응하는 고등어, 오징어 등의 소형표층어류는 1990년대에 들어와 우리 나라 어획량의 50-70%를 차지하고 있으며, 대표적인 냉수 어종인 명태는 거의 자취를 감추었다. 육지에서는 양식업이 급성장을 하고 있지만 아직 기후변동에 대비하는 양식정책은 고려되지 않고 있다. 따라서 기후의 변동이 해양생태계를 변화시키고 더 나아가 수산생물의 변동을 유발할 수 있다면 이에 대한 대처방안을 시급히 강구하여야 사회경제적인 손실을 줄일 수 있고 국민에 대한 영양분 공급 계획에 차질이 없게 된다. 수산학자, 수산업자, 정책결정자 모두가 지혜를 모아 미래를 대비하여야 할 시점인 것이다.

## 감사의 글

본 원고는 해양수산부의 수산특정과제 ‘동해의 수산자원과 한반도 기후변동의 역학관계 연구’를 수행하면서 정리되었다. PICES의 WG-16에 참여하고 있는 캐나다의 Dr. Beamish, 러시아의 Dr. Klyashtorin의 선구적인 연구 결과가 본 원고를 작성하는 동기가 되었고, 익명의 세분 심사자의 지적과 교정은 본 원고의 틀을 잡는데 많은 도움이 되었다. 그분들 모두에게 깊이 감사를 드린다.

## 참고문헌

- 김수암. 1994. 「어류생태학」. 서울프레스, pp. 273
- 김수암. 1990. “베링해 명태자원의 현황과 연구 방향 : (I) 어업의 변천 및 중요성”. 「해양연구」 12 : 117-128.
- 김수암. 2000. “GLOBEC 프로그램의 목적, 운영체계 및 최근의 동향에 대하여”. 「바다」 5 : 10-15.
- 김수암, 강수경. 1998. “동해의 수산자원 현황 및 연구 방향”. 「한국수산자원학회지」 1 : 44-58.
- 로춘봉. 1986. “꼭추송어의 성장과 수량변동 경향에 대한 연구”. 「수산과학기술 논문집」 공업출판사, pp. 17-24
- Babaluk, J. A., J. D. Reist, J. D. Johnson, L. Johnson. 2000. “Fish records of sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and pink salmon(*O. gorbuscha*) from banks Island and other records of Pacific salmon in the Northwest Territories” *Arctic* 53(2) : 161-164.
- Bakun, A. 1990. “Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling”. *Science*. 247 : 198-200.
- Barber, R. T. and F. P. Chavez. 1986. “Ocean variability in relation to living resources during the 1982-83 El Niño”. *Nature*. 319 : 279-285.
- Baumgartner, T. R., A. Soutar, and V. Ferreira-bartrina. 1992. “Reconstruction of Pacific sardine and Northern Pacific anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara basin”. *CalCOFI Report* 33 : 24-40.
- Beamish, R. J., G. A. McFarlane, J. R. King. 2000. “Fisheries Climatology: Understanding decadal scale processes that naturally regulate British Columbia fish population”. In : Harrison, P. J., T. R. Parsons, (eds.) 94-105 pp. *Fisheries Oceanography : An integrative approach to fisheries ecology and management. Blackwell Science*
- Chang, K. -I., S. Kim, M. -S. Suk, C. -H. Kim and S. Yoo. 1998/1999. “Overview of KORDI's physical and biological research activities in the East/Japan Sea”, *MTS Jour.*, 32 : 24-33.
- Francis, R. C., and S. R. Hare. 1994. “Decadal scale regime shifts in the large marine ecosystems of the Northeast Pacific : a case for historical science”, *Fish. Oceanogr.* 3 : 279-291.
- Friis-Christensen, E., and K. Lassen. 1991. “Length of the solar cycle : an indicator of solar activity closely associated with climate”. *Science* 254 : 698-700.

- Groot, C. and L. Margolis (eds.). 1991. *Pacific salmon life histories*. UBC Press, pp. 564
- Hare, S. R., and N.J. Mantua. 2000. "Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989". *Prog. Oceanogr.* 47 : 103-145.
- Hsien, W. W. and Boer, G. I. 1992. "Global climate change and ocean upwelling". *Fish. Oceanogr* 1 : 333-338.
- IGBP. 1997. "Global Ocean Ecosystem Dynamics (GLOBEC) Science Plan. IGBP Rep. 40 (GLOBEC Rep. 9), The Int'l Geosphere-Biosphere Programme, Stockholm Seden, pp. 82
- IGBP. 1999. *Global Ocean Ecosystem Dynamics (GLOBEC) Implementation Plan. IGBP Rep. 47, The Int'l Geosphere-Biosphere Programme, Stockholm Seden* pp. 207
- IPCC. 1996. *Climate Change 1995 - Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change : Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC.*, edited by R. T. Watson, M.C. Zinyowera, and R. H. Moss, pp. 879
- IPCC. 2001. *Climate change - the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).* Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Xiaosu D. (eds.). Cambridge Univ. Press, pp. 944
- Kang, S., S. Kim, and S. W. Bae. 2000. "Changes in ecosystem components induced by climate variability of the eastern coast of the Korean Peninsula during 1960-1990". *Prog. Oceanogr.* 47 : 205-222.
- Kawasaki, T. 1994. "A decade of the regime shift of small pelagics. FAO expert consultation (1983) to the PICES III (1994)". *Bulletion of the Japanese Society and Fisheries Oceanography.* 58 : 321-333.
- Kim, S., S. Jung, and C. I. Zhang. 1997. "The effect of seasonal anomalies of sea water temperature and salinity on the yields of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis*, in the Yellow Sea". *Fish. Oceanogr* 6 : 1-9.
- Kim, S. and S. Kang, 2000. "Ecological variations and El Niño effects of the southern coast of the Korean Peninsula during the last three decades". *Fish. Oceanogr.* 9 : 239-247.
- Kim, S. and S. H. Khang. 2000. *The Yellow Sea. In : C. Sheppard (ed.), Seas at Millennium, Elsevier.* pp. 487-498.

- Klyashtorin, L.B. 1997. "Pacific salmon: climate-linked long-term stock fluctuations". *PICES Press* (Newsletter of Report of Pacific Research Institute of Fisheries and oceanography), TINRO-Centre, Vladostok, 119 : 33-54. (in Russian, English summary).
- Klyashtorin, L. B. 1998. "Long-term climate change and main commercial fish production in the Atlantic and Pacific". *Fisheries Research*, 37 : 115-125.
- Klyashtorin, L. B. 2001. *Climate change and long term fluctuations of commercial catches : The possibility of forecasting*. FAO Fisheries Technical Paper No. 410. Rome, FAO, pp. 86
- McGinn, A. P. 1999. *Charting a new course for oceans*. In : L. Starke (ed.), *State of the world*. pp. 259
- Medley, P. and L. Klyashtorin. 2001. *Fisheries and climate change*. unpublished manuscript, pp. 12