

濟州島 周邊海域의 環境과 低次生産

高 有 峰*

I. 海洋環境

1. 海저지형 및 퇴적물

한국 연근해의 해저지형 및 저질은 동·서·남해의 해역별로 각각 특이한 양상을 나타내고 있어서 서·남해는 침강해안으로 대륙붕이 광대한 반면, 동해측은 융기해안으로 대륙붕이 협소하고 육붕연에서 급경사로 대륙사면에 연결되어 깊은 해저로 되어 있다.

제주도를 포함한 동지나해는 세계에서 가장 넓은 대륙붕중의 하나로서 북쪽으로는 수심이 100m미만인 황해로, 남쪽으로는 수심이 900m에 이르는 오끼나와곡선으로 이어지는데 주로 중국대륙의 황하, 양자강을 통해 막대한 양의 육지기원 물질이 유입되어 집적되고 있다. 제주도 주변 및 동지나해에 대한 지질학적 조사 연구는 Emery *et al.* (1969)을 선도로 해서 많은 조사, 연구가 수행되어서 제주해협에 대해서는 상당히 밝혀지고 있다(Park and Han, 1985; Chough, 1985).

제주해협 퇴적물의 입도분석에 의한 표층퇴적물의 결과를 보면 자갈함유 니질사, 소량자갈함유 니질사, 니질사와 같은 자갈과 패각편을 함유하는 사질형 퇴적물이 제주해협 중앙부와 수심이 깊어지는 북동부해역에 많고, 점토니, 사질점토, 사질니, 역질니, 소량 자갈함유 사질니와 같은 니질형 퇴적물은 제주도 북부지역인 남해안쪽에 주로 분포하며 북서부지역인 제주해협 골짜기에도 소량 분포하고 있다(강 1991).

한편, 제주도의 남동부해역은 역함유니질모래, 모래니질모래 등 모래 크

* 濟州大學校 海洋學科

기의 조립질이 우세함을 보이고, 남서부는 니질모래, 사질펄 등 조세립질이 혼합된 분포를, 남서쪽에서는 소규모의 니질 퇴적물이 분포함을 보여 복잡한 환경임을 시사하고 있다(윤, 고, 1987).

2. 해 류

우리나라 주변해역 해류에 대해서는 약 1세기전에 러시아인 Schrenck (1873)가 처음으로 동지나해와 황해의 해류도를 발표한 이후 많은 연구자들에 의해 규명되어 왔지만, 그중 1932년 5~6월과 1933년 10~11월의 2차에 걸쳐 60여척의 조사선을 이용하여 일본, 한국, 대만 근해에 대한 해양조사를 실시, 방대한 자료를 종합적으로 정리한 宇田(1934, 1936)의 연구결과에 의해 그 윤곽이 최초로 밝혀졌다. 그런데 1970년대 이후부터 해류관측기기의 발달과 활발한 연구결과, 宇田가 제시한 쿠로시오로부터 분리되어 일본 구주 서방해역을 따라 북상하는 난류의 主流는 제주도과 일본 오토열도 사이로 통하여 대한 해협쪽으로 흘러가 동해로 유입되는 대마난류와, 나머지 일부는 제주도 남쪽에서 대마난류와 분리되어 제주도 서방을 거쳐 황해로 유입하는 황해난류로 구분하는 해류 모식도에 일부 의문을 갖게 되었다. 제주도 주변해류에 관한 연구현황은 김구(1987)가 보고하고 있다. 제주도 주변 해류에 관한 모식도를 Fig. 1에 나타냈다.

황해와 남해 그리고 동지나해역을 흐르는 해수중에는 쿠로시오 해류로부터 갈라져 나와 동지나해를 북상하는 고온고염의 쿠로시오계 해수와 연안지방으로부터 흘러나오는 여러 담수와 기상의 영향을 받아 형성된 양자강연안수, 황해저층냉수, 황해연안수, 남해연안수등의 연안수계가 있어 복잡한 양상을 보이고 있다(방, 김1980).

황해냉수는 춘계로부터 추계에 걸쳐 표층 가까이 형성되는 계절적 수온약층에 의해 대기와의 열교환이 거의 차단되어져서 수온약층 하부에 자리하는 저층 냉수괴를 형성한다. 이 저층 냉수괴는 황해 중앙역의 깊은 골 주변에 동계에 형성된 냉수괴가 춘계에서 추계에 걸쳐 계절적 수온약층의 하부에 잔존하면서 점차 남하하고, 동계에 접어들면서 수온약층의 소멸과 함께 냉

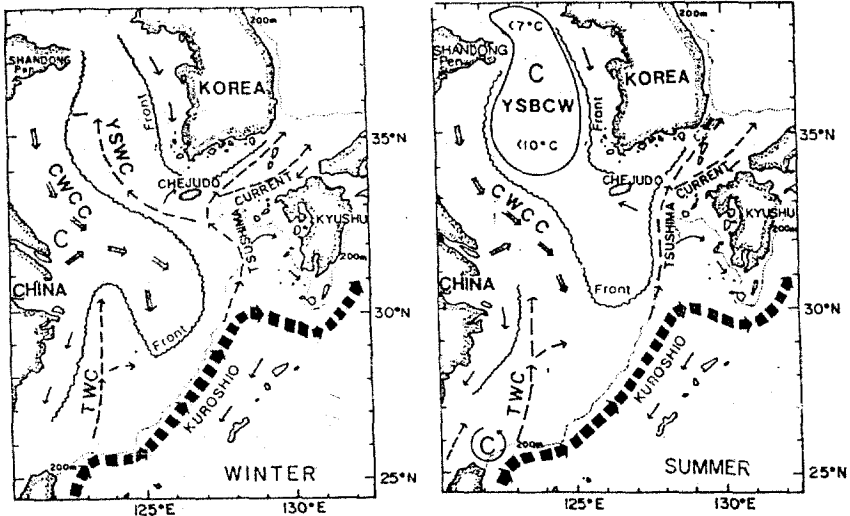


Fig. 1. Schematic representation of the water mass distribution in winter (a) and in summer (b) (After Knodo, 1985).

수의 확장세력이 완화되는 냉수괴를 황해저층 냉수괴라 한다(Nakao, 1977). 그러나 황해저층냉수에 대한 정의가 연구자에 따라 조금씩 달라 Nakao(1977)는 춘계에서 추계에 이르기까지 황해저층에 자리잡은 10°C이하의 수온과 32.0~32.5%의 염분을 갖는 해수로, Lie(1984)는 수온 10°C, 염분 32.2~33.0‰, Park(1985, 1986)은 수온 12°C이하, 염분 33.5‰이하, 용존산소 5ml/l이상의 해수라고 정의하고 있다. 어떠한 제주서방역을 통한 황해저층 냉수의 남하 가능성은 매우 높아 그 세력은 4월에 가장 탁월하고 적어도 8월까지 계속되며 황해저층냉수의 수온분포범위는 전년의 동계기온에 따라 크게 달라질 수 있는, 즉 한냉한 동계를 보낸 해의 저층냉수는 온후한 동계를 보낸 해에 비해 보다 저수온의 저층냉수가 보다 남쪽과 연안까지 분포한다고 윤동(1991)은 보고하고 있다.

방과 김(1989)은 황해의 특성분포로부터 겨울철 황해난류수의 북상과 여름철 황해저층수의 남하를 확인하고 이들 사이에는 연관성이 있어서, 겨울철에 황해난류수의 북상이 강하면 여름철에 황해저층수의 남하세력이 약

화되고, 반대로 겨울철에 황해난류수의 복상이 약하면 여름철에 황해저층냉수의 남하세력이 강화되므로 황해 저층냉수가 겨울철에 형성된다는 견해를 뒷받침하면서 황해의 열공급이 황해난류수에 의해 결정된다고 보고하고 있다. 그러나 소위 황해난류수로 표현되고 있는 황해로의 유출입은 가능한 역학이 제기되었음에도 불구하고(Park, 1986; Pang, 1987; Hsueh and Pang, 1989) 아직 쿠로시오계 해수의 황해유출입을 부정하는 견해와(Lie, 1984; Nakao, 1977), 긍정적인 견해(Byun and Chang, 1988)로 나뉘어 있다.

황해와 동지나해에서 계절변화를 일으킬 수 있는 요인으로는 크게 쿠로시오의 변화, 해수표면을 통한 계절영향, 계절풍으로 생각되고 있다(방, 김, 1990, 1991). 즉 그들은 북서계절풍이 부는 겨울철에는 제주도 북서해역에서 황해로 고온고염의 쿠로시오계 해수를, 여름철에는 반대로 황해에서 제주도 북서해역으로 저온저염의 해수를 흐르게 한다는 것이다. 이와같은 현상은 대한해협에서의 대마난류 유량에 영향을 끼쳐, 유량은 여름에 많고 겨울에 약하게 된다(Ichiye, 1984; Mitta and Ogawa, 1984).

제주해협은 해황이 복잡하여 해협의 동쪽과 서쪽입구, 남측과 북측에 따라 출현수괴의 성질 및 해황변화양상이 다르기도 하며 그 현상의 규모가 작아 국지적으로 해황특성을 파악하지 않으면 안된다(노, 1985). 김(1987)은 제주해협 서쪽입구 해역에서는 주년 층별에 관계없이 전체적으로 제주해협 내로 해수가 유입되고, 제주해협 중앙부에서는 제주해협 서쪽입구에서 유입된 해수가 제주시 외해측에서 2개로 나뉘어 약 10해리 이내의 연안역에서는 해안선과 평행하게 흐르는 東流가 있고, 그 이북의 해역에서는 북-북동쪽으로 흐르는 北流系가 있음을 밝히고 있다. 이때 제주도 북부연안역에서 해안선과 평행하게 흐르는 東流는 우도북측에서 방향을 바꾸어 南方流가 되며 제주시 북측에서 양분되는 東流와 北東流사이에는 여서도 부근을 통하여 서쪽으로 유입되어 제주시 북측까지 썩기모양으로 파고들었다가 해안선을 따라 동측으로 흘러나가는 소규모의 좌선와류가 있음이 아울러 관측되었다. 또한 제주해협에서 주변의 해수와 확연히 구분되는 고온 고염의 쿠로시오계통 해수가 제주도 서안을 끼고 폭 10해리 정도의 좁은 띠모양으로 분포하며

양자강근원의 영향이라고 보이는 표층 10m두께의 저염해수가 제주해협으로 유입되는 것이 관측되었고(김, 1980), 1986년 여름 인공위성을 이용하여 추적한 10m층 부표가 양자강 입구근처에서 출발하여 북동으로 이동한 후 제주해협을 통과하여 한국남해안에 거의 평행하게 움직여 대한해협을 통하여 유입된다는 사실이 밝혀졌다(김, 1987).

한편 제주도 남동쪽해역에서 8월에 수온 16°C 이상이고 염분 34.0‰이상의 대마난류수가 50m층에서 제주도 연안 약 15km까지 출현하나, 남서쪽해역에서는 13°C이하의 황해저층냉수기원의 해수가 분포하고 있어서 북서쪽해역에 비해 그 면적도 좁고 질산염농도도 현저히 낮게 나타난다(양, 김, 1991). 그들은 질산염농도가 낮은 이유를 남서쪽해역까지 남하한 황해저층냉수가 북상하는 대마난류와 마주치면서 질산염이 거의 고갈된 표층의 해수와 수직혼합이 잘 이루어진 때문이라고 보고 있다. 또한 제주도 남쪽해역에서 수층별 수온의 수평분포로부터 황해저층냉수와 대마난류수의 주류는 각각 50m층과 그 상부수층으로 유입되는 반면, 수온이 13~15°C로서 위 두수층의 혼합수인 황해난류수는 주로 수심 75m 이심층에서 보다 넓게 분포하여 제주도 연안역에서는 50m 층에서도 황해난류가 존재함을 밝히고 있다.

그러나 심해와는 달리 대륙붕에서는 수온이나 염분의 분포만으로는 해류를 측정하기가 매우 어려워, 부표추적이나 유속계등을 이용한 장기적 유속 관측이 필요하고, 금후 거의 조사가 안된 있는 제주도 남쪽과 동쪽에 대한 조사를 비롯하여 제주해협내의 해황 및 해류변화 황해난류의 형성과 대마난류와의 관계, 동지나해의 해수유동 및 황해저층냉수의 확장등에 대해 체계적이고 종합적인 조사가 필요하다(김구, 1987).

3. 수온 및 염분분포

(1) 수온

박주석(1970)은 제주도 주변을 포함한 우리나라 주변해역의 수온 및 염분을 계절에 따른 층별 분포로 보고하고 있어 여기서는 그의 논문을 요약하여 인용하였다.

겨울철은 저온건조한 북서계절풍의 영향을 받아 대륙작용으로 인하여 0~50m층까지 거의 같은 수온성층을 나타내고 있다. 2월의 표층수온은 제주해협에서 12°C정도를 나타내고, 제주도 남부연안에서 14~15°C를 유지하므로써 동서남해안중 가장 높은 수온분포를 나타내고 있다. 4월에는 제주도의 서방해역에서 소흑산도에 이르는 사이의 해역은 2월과 마찬가지로 표층에서 저층까지 동일한 수온을 나타내고, 수온분포도 2월과 유사하여 제주도 연안의 표층수온은 12~16°C를 보이고 있다.

6월의 수온은 동서남해 다같이 표층수온이 서해의 일부를 제외하고는 18~20°C에 이르고 있고, 50m층에서는 제주도 연안수온이 저하하여 4월에서와 비슷하게 13~19°C 사이를 나타내고 있다. 한편 20~30m층에서는 현저한 수온약층이 형성되고 이러한 경향은 북위 35~37°, 동경 124~125°의 해역에서 뚜렷하다. 8월은 일년중 표층수온이 가장 높아 제주도주변에서 26~28°C, 50m층은 6월과 차이를 보이지 않으나, 20~30m 층에서의 수온약층은 더욱 현저하다. 10월은 서해북부해역을 제외하고 동서남해 모두 50m층의 수온이 가장 높아 제주도부근에서 15~19°C를 나타내어, 난류의 북상세력이 8월과 같이 강세를 보이고 있다. 이것은 표층수온(제주도주변 20~22°C)이 9월에 접어들어 북서계절풍으로 인하여 점차 냉각된데 비하여 50m층은 난류의 북상세력이 계속되고 있어 표층과 50m층과의 계절변화가 1~2개월 차이를 갖는 것을 암시해 주고 있다. 12월의 수온은 계속적인 북서계절풍의 영향으로 표면의 냉각이 빨라지면서 대륙작용이 현저하게 일어나 50m층까지는 수온의 격차가 거의 없는(제주도주변 표층수온 15~18°C) 현상을 이루고 있다.

(2) 염분

2월에 있어서 제주도 동남방부터 일본구주사이에 분포하는 염분은 각종 다같이 34.6~34.8‰의 고염분 해수이고, 제주도 서북방으로 일부 세력은 미치고 있다. 한편 제주도 서남해역에서 확장하고 있는 32.6~33.0‰의 저염분 해수는 제주도 남방의 상기 고염분 해수를 압박하여 남북으로 조밀한 염분 불연속선을 형성하고, 제주도 서북방 해역에서도 서해의 33.2‰전후의

저염분 해수가 제주도 서방으로 북상하는 고염분 해수 사이에 흑산도 부근 해역에서 조밀한 불연속선을 형성한다. 4월의 제주도 동남방에서 일본 구주 사이의 염분은 각층 34.5~34.8%이고 제주도 서남방과 서북방 해역의 32.6~33.0%의 저염분은 서해쪽으로 세력을 미치는 난류인 고염분 해수와 상접하여 조밀한 불연속선을 형성하나, 이 해역은 난류의 북상은 저층에서 먼저 시작되어 냉수괴의 하층부가 먼저 소멸된다.

겨울에서 봄까지는 표층과 저층사이의 염분의 수직변화가 별로 없으나, 6월은 표층과 중층사이에서 심한 차이를 보이고 표층염분은 제주도 동남방부터 일본구주사이의 대마난류 주유역이 33.4~34.0%정도, 제주도 서남방 및 한국서해전역이 32.4~33.2%의 저염분, 서해남부와 제주도 서남방해역에서는 33.0~34.0%정도의 저염분과 제주도 동남방의 북상하는 고염분해수 사이에 조밀한 불연속선을 형성한다. 8월의 표층수의 저염화현상은 전해역에서 다같이 6월보다 더 심해져 제주도 동남방 해역에서 33.0~33.0%, 제주도 서남방에서 27.0%전후의 저염분해수가 확장하여 심한 불연속선을 형성한다. 10월의 표층염분 분포는 제주도 동남방 해역에서 34.0~34.4%로 다소 높고, 남해안 연안에는 8월에 이어 32.0~33.0%의 저염분이 잔존하고 있어 이들사이에 접촉하는 조밀한 불연속선은 제주도와 대마도를 연결하는 해역에 형성되고 있다. 12월에는 표층과 중층이 혼합되어 북상하는 제주도 동남방에 있는 34.4~34.6%의 고염분수가 대마해협을 거쳐 동해까지 확장되고, 이 고염분해수와 33.5% 전후의 한국남해안 연안수 사이에 상접하는 불연속선은 제주도와 대마도를 잇는 선상에 형성된다.

4. 영양염분포

(1) 제주도 해안선 부근

제주도 해안선 부근에서는 다량의 용천수와 강우의 영향으로 인하여 해양학적으로 독특한 환경이 조성되고 있다. 특히 해안가의 양식장개발등 많은 관심과 투자등으로 해안선 주변이용이 증가하기 시작했고 제 1종 공동어장은 옛부터 해녀를 중심으로 한 중요한 생활의 터전이기도 하다.

1987년 6월~1988년 4월까지 제주도 해안가 10개정점을 격월별로 조사한 결과를 보면(최등, 1989), 질산염은 2.7~49.6(평균 11.5) $\mu\text{g-at/l}$ 범위로 지역별로는 남쪽해안가에서 8월, 11월, 12월에 타지역보다 높고 계절별로는 격월로 낮았다가 증가하는 경향이 있다. 인산염농도의 분포범위는 0.05~0.88(평균 0.31) $\mu\text{g-at/l}$ 로서 서귀포지역에서 12월에 최대치를, 최소치는 8월에 위미지역에서 보였고, 계절별로는 8월부터 12월까지 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 인산염이 0.6 $\mu\text{g-at/l}$ 이상이면 식물플랑크톤의 성장제한 인자로 볼 수가 없는데, 여기서는 그 값을 상회하는 경우가 적으므로 제주도 해안가 주변에서는 인산염이 식물플랑크톤 증식의 제한인자로서 영향을 줄 가능성을 시사하고 있다. 규산염농도의 분포범위는 5.16~49.40(평균 17.06) $\mu\text{g-at/l}$ 로서 지역적으로는 남동쪽이 서역쪽보다 높고, 특히 서귀포 해안가에서 평균 24.25 $\mu\text{g-at/l}$ 를 나타내어 타지역보다 평균 1.5배정도 큰 값을 보이고 있다.

(2) 제주도 연근해

제주도 연근해에 대한 해수의 영양염 분포에 대해 1981년 6년 연안 2마일 내의 해수에서 조사한 결과를朴(1982)은 다음과 같이 보고 하고 있다.

질산염의 농도분포는 일반적으로 연안쪽의 값이 외해보다 높고, 표층보다 50m층 이상에서의 농도가 높은 경향이며, 지역별로는 모슬포서남쪽, 우도 부근 및 제주도 북쪽에 고농도수(6 $\mu\text{g-at/l}$)가 분포하고 있다. 인산염의 농도분포는 대체적으로 표층에서는 연안쪽에서 높으며(0.2~0.3 $\mu\text{g-at/l}$) 수심별로는 10m층(0.1~0.3 $\mu\text{g-at/l}$) 보다 50m층(0.2~0.5 $\mu\text{g-at/l}$)에서 높고, 50m층에서는 외양에서 높은 경향을 보였으며, 지역별로는 모슬포쪽 연안수가 가장 풍부한 인산염을 함유하고 있다(Fig. 2). 규산염은 일반적으로 외양(3~5 $\mu\text{g-at/l}$)보다 연안쪽(5~9 $\mu\text{g-at/l}$)의 농도가 높고, 수심별로는 50m 이심에서의 농도가 표층보다 높았다. 해역별로는 10m층에서는 북서쪽이, 50m층에서는 서쪽이 가장 높고 북쪽, 동쪽도 비교적 높았는데 비해 남쪽이 가장 낮게 나타나고 있다. 결국 상대적으로 저수은, 높은 용존산소, 고농도의 영양염이 분포하는 제주도 서쪽과 북쪽해역은 한국남해연안수와 황해저층냉

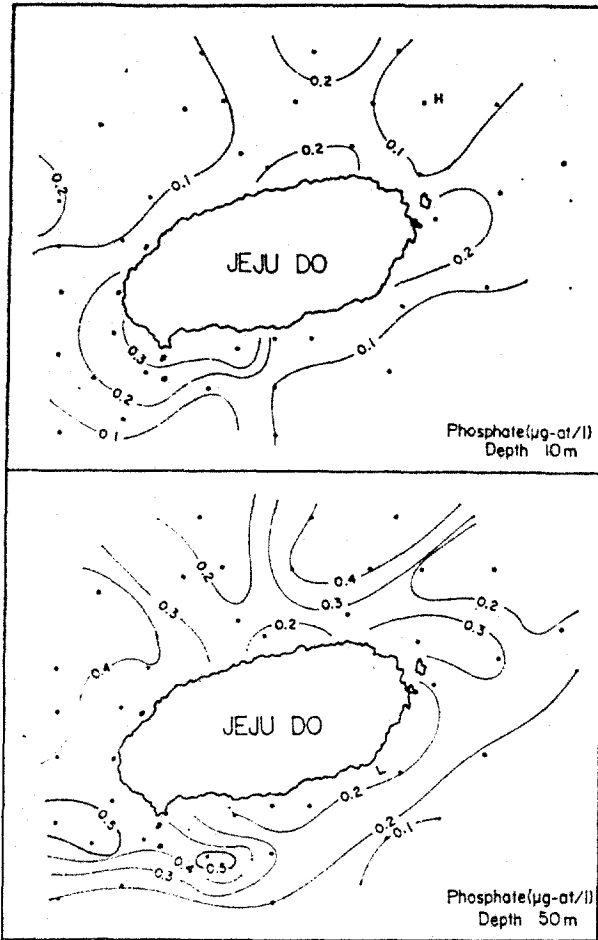


Fig. 2. Phosphate distribution at 10m (upper) and 50m(lower) layers in the coastal sea of Jeju island, June, 1981.

수의 영향을 강하게 받고 있는 남동쪽 해역은 수온은 높으나 각 성분의 농도범위의 변동폭이 좁고, 그 상대적 값도 적은 대마난류의 영향을 직접 받고 있음을 보여주고 있다.

한편 1986년 8월 제주도 주변해역에서의 표층수 조사결과(양, 김, 1990, 1991)를 보면 차(1982)의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 즉, 제주도

북서쪽해역이 남동쪽해역보다 영양염 및 클로로필농도가 높게 나타나고 있었다. 즉 질산염은 북서쪽에서 $0.5\sim 1.5\mu\text{g-at/l}$, 남동쪽에서 $0.3\sim 0.5\mu\text{g-at/l}$ 를, 인산염은 북서쪽에서 $0.1\sim 0.3\mu\text{g-at/l}$, 남동쪽에서 $0.05\mu\text{g-at/l}$ 를, 규산염은 북서쪽에서 $5\sim 8\mu\text{g-at/l}$, 남동쪽외해에서 $5\mu\text{g-at/l}$ 이하, 제주도 연안에서 $5\sim 7\mu\text{g-at/l}$ 의 값을 보이고 있다.

같은 조사기간의 50m 이심층에 나타난 물리화학적 특성을 요약하면(양, 김, 1991) 제주도를 중심으로 북서쪽해역 중저층에 비교적 영양염이 풍부하고 수온 12°C 이하의 황해저층냉수체가 존재하고 있다. 즉, 50m층에서의 질산염은 제주도 북서쪽에서 $3\sim 5\mu\text{g-at/l}$, 남쪽에서 $3\mu\text{g-at/l}$ 이하, 저온수가 나타나는 해역에서 $4.0\sim 4.6\mu\text{g-at/l}$ 를, 인산염은 북서쪽 외해정점에서 $0.6\sim 0.83\mu\text{g-at/l}$ 농도범위로 가장 높고 남쪽해역에서 $0.2\sim 0.4\mu\text{g-at/l}$ 의 범위로 낮은 값을, 규산염은 다른 영양염류와 마찬가지로 제주도 서쪽 외해에서 $10.5\sim 10.7\mu\text{g-at/l}$ 범위로 가장 높고 남쪽해역에서는 연안역에서 다소 농도가 높으나 인산염에 비해 해역별 농도차가 크지 않음을 보여주고 있다.

75m층에서의 질산염과 인산염은 50m층과 비슷하나, 규산염은 다소 달라서 연안 및 중간해역에서 $11.8\sim 12.9\mu\text{g-at/l}$ 범위로 북서쪽에 비해 다소 높은 특징을 나타내고 있다. 한편 저층에서의 질산염과 인산염의 수평농도분포는 75m층과 비슷하여 북서쪽이 남동쪽보다 높으나, 규산염의 경우 북서쪽 및 남서쪽해역에서는 정점별 농도차가 크지 않아 대체적으로 34°N 이북정점들에서 $10.2\sim 10.5\mu\text{g-at/l}$ 범위로 다소 낮은 반면, 남동쪽 외해에서는 $14\sim 15\mu\text{g-at/l}$ 로 높은 값을 보이고 있다.

이와같은 제주도 주변역 영양염 분포양상을 우리나라 타해역과 비교해 본다면 인산염은 여름철 동해남부 표층에서 $0.15\sim 0.56\mu\text{g-at/l}$ (이, 1987), 목호, 삼척에서 $0.3\mu\text{g-at/l}$, 울산 내만 $6.45\mu\text{g-at/l}$, 서남해 및 인천에서 $1.30\mu\text{g-at/l}$ (이등, 1978), 질산염은 목호, 삼척에서 $2.6\mu\text{g-at/l}$, (목포내만에서 $12.2\mu\text{g-at/l}$ (이등, 1978), 규산염은 목호, 삼척에서 $35.7\mu\text{g-at/l}$ (이등, 1978)의 농도로 보고되고 있어서 이들값이 제한된 계절에 한하기 때문에 절대적 비교는 어렵다. 그러나 대체로 제주도 주변표층에서의 영양염은 해안가가가

장 높고 연안이 외해보다 높은 양상을 보이고 있으며, 우리나라 동해북부보다는 조금 높은 반면 다른 해역보다는 낮은 경향을 나타내고 있었다.

Ⅱ. 低次生産

1. 一次生産

육상과는 여러가지 점에서 다른 해양환경을 생활의 장소로 하는 해양생물의 생산과 자원에 관한 조사연구는 직접 실태를 목시관찰할 수 없다는 점에서 곤란한 문제를 갖고 있다. 따라서 실제로 해양에서의 생물생태, 자원조사, 생산력연구는 육상에 비해 훨씬 뒤떨어져 있다고 할 수 있다. 그중에서도 해양에서는 어업이 적극적으로 이루어지므로 어업생산에 관한 정보는 많지만, 해양생물생산력에 관한 조사연구는 그 중요성에 비해 미미한 상태이다.

해양에서는 미세한 식물플랑크톤으로부터 고차의 동물에 이르기까지 여러개의 영양단계를 갖는 복잡한 생태계를 형성하고, 각각의 동물, 식물은 예외없이 거기에 형성되는 생태계의 구성원으로서의 역할을 다하고 있다. 해양생태계중 식물플랑크톤은 일차생산자로서 중요한 위치에 있으며 이들의 광합성 능력에 의한 기초생산량은 해양의 생물생산을 유지시켜 주는데 있어 중요한 역할을 하고 있다. 일반적으로 식물플랑크톤의 정량은 단위체적당 개체수의 현존량(cells/l)과 Chlorophyll a 함량(mg/m³) 등의 생물량으로 나타내고 있지만, 근래에는 현장배양에 의해 명암병을 이용한 산소법 또는 이산화 탄소고정능력을 측정하는 탄소동화법(C-14법) 등의 생산량 측정도 많이 이용되고 있다. 여기서는 편의상 클로로필 함량과 C-14방법에 의한 결과를 중심으로 기술하기로 한다.

(1) 제주도 해안선 주변

제주도 주변 해안선을 따라 조사한 결과(이등, 1989) Chlorophyll a량의 평균 월별변화는 최저(12월) 0.45-최고(8월) 2.59mg/m³의 범위로서 年평균 0.9mg/m³의 값을 보이고 있다. 지역별로는 동부역에서 높아 제주도 북서연

안역에서의 $0.23\sim 0.58\text{mg}/\text{m}^3$ (전, 고, 1983)보다 높고 북부역에서 낮다.

C-14방법에 의한 일일기초생산력은, 동계에서 $1.31\sim 7.15$, 하계 $34.54\sim 117.04$, 추계 $22.28\sim 63.64$, 춘계 $8.53\sim 11.95\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$ 의 범위로 하계, 추계, 춘계, 동계의 순으로 낮아졌다. 해역별로는 8월 서부역에서 최고치를 보였고, 대체로 서부와 동부역에서 높은 것으로 나타났다. 이것은 서부연안역은 용승해역으로(Kim and Lee, 1982), 동부연안역은 외류가 심한 해역(노, 미발표)으로 알려져 있어, 이러한 해양학적 특성이 기초생산에 영향을 미치고 있는 것으로 예상된다.

(2) 제주도 연근해

제주도 북방 함덕연안역에서부터 점차 외해로 정점을 통해 1989년 4월부터 1년간 월별 채집한 결과(고, 1990) 클로로필 a량은 $0.12\sim 2.24\text{mg}/\text{m}^3$ 였고, 기초생산력은 추계에 $12.9\sim 229.2\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$, 춘계 $17.7\sim 225.6\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$, 하계 $14.7\sim 120.7\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$, 동계에 $0.8\sim 87.7\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 로 나타나 추계($17.7\sim 225.6\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$)와 춘계에 높고 하계($14.7\sim 120.7\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$)와 동계에 낮으며 연안역이 외양역에 비해 높은 값을 보이고 있다.

한편 1990년 한국해양연구소(KORDI)에서 이지역에 대해 3월에 조사를 실시한 결과 제주도 동남해역의 질산염이 $4\mu\text{g-at}/\text{l}$ 이하로 상대적으로 낮고 클로로필 a는 표층에서 $0.09\sim 0.86\mu\text{g}/\text{l}$ 로 수괴의 수직적인 혼합에 의해 균일하게 나타나고 있어서 이때 표층의 일차생산력은 $3\sim 140\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$ 로 제주 서쪽에서 높고, 수괴의 일차생산력은 $0.08\sim 0.61$ (평균 0.31) $\text{gC}/\text{m}^2/\text{day}$ 로 나타나고 있다(양, 1990).

또한 KORDI의 1989년 4월조사(해양연구소, 1989)에서 클로로필 a의 평균값은 $0.57\mu\text{g}/\text{l}$, 남해연안수와 대마난류사이의 전선에서 수심 50m까지는 $1\mu\text{g}/\text{l}$ 이상으로 나타났다(Fig. 3). 표층의 일차생산력은 $22.8\sim 222$ (평균 99.8) $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$, 수괴의 일차 생산력은 평균 $1,727\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 로서 제주 북동쪽에서는 남해연안수와 대마난류수와의 전선에서 $180\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$ 로 높고, 제주서쪽에서는 높게 측정되었다.

1988년 8월의 조사에서는(해양연구소, 1989) 표층의 일차생산력은 $28\sim$

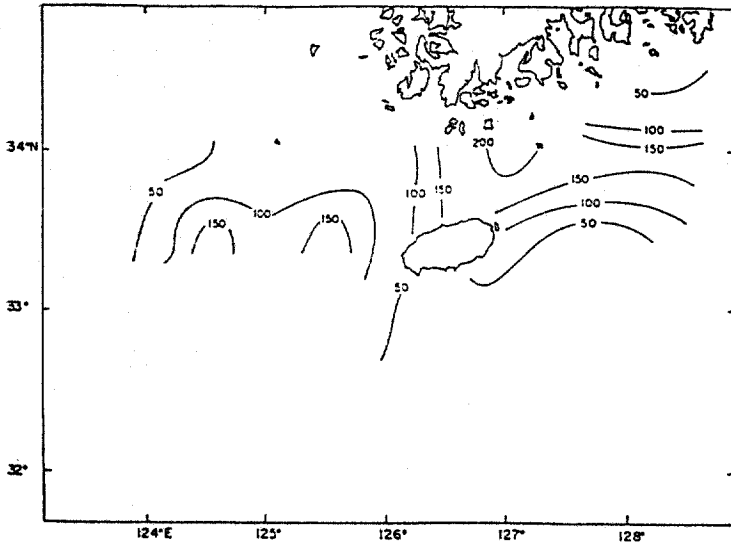


Fig. 3. Distribution of surface productivity in April, 1989(mgC/m³/day).

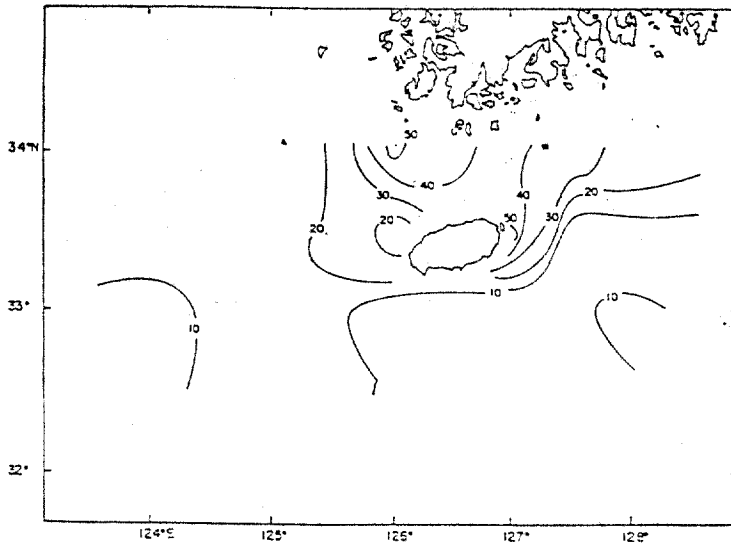


Fig. 4. Distribution of surface productivity in August, 1988(mgC/m³/da^Δ).

56.4mgC/m³/day였고, 남해안의 정점에서가 조석전선의 영향으로 높은 생산성을 보였다(Fig. 4).

1989년 11월(해양연구소, 1990)에는 남해역에서의 클로로필 a 농도가 평균 0.5μg/l로 남해연안수와 전선에서 높고, 표층의 일차생산력은 2~114(평균 41)mgC/m³/day, 남해일대의 평균일차생산력은 약 750mgC/m²day로서 연간 270gC/m²/yr의 생산력을 갖고 있는 것으로 나타났다. 이 값은 Koblenz-Mishke *et al.*(1970)에 의한 남해안 연안역 일차생산력의 평균 700mgC/m²/day의 결과와 비슷하다.

Shim and Park(1984)이 1980년 6월 조사한 바에 따르면, 제주도 서남쪽과 남서연안역에는 식물플랑크톤의 세포수와 클로로필 a가 표층에서 최대 값을 보였다. 그러나 제주도 서부해역에서 영양염이 비교적 풍부함에도 불구하고 일차생산력이 낮은 것은 중국대륙연안수, 양자강희석수의 영향으로 높은 농도의 부유물질이 수층 깊은데로의 광투과를 방해하여 식물플랑크톤의 성장을 제한시키고 있는 것 같다(양, 1990).

한편 식물플랑크톤의 단위체적당 개체수는 제주도 해안가에서 2,025~133,734(평균 16,170)cells/l(이등, 1989), 제주도북방 함덕연안역에서 10³~10⁵cells/l(고, 1990), 제주도북부 삼양연안역에서 2,425~590,105cells/l(고, 전, 1984)등의 값은 오염내만인 진해만의 15⁵~10⁶cells/l(이등, 1981)보다는 낮으나, 한국남서해역의 평균 12,050 cells/l(Shim and Park, 1984)보다는 높다. 우리나라 주변해역 및 세계해양에서 측정된 값을 표 1에 나타냈다.

해양의 일차생산이 영양염류에 크게 의존하고 있다는 입장에서 해양을 연안, 외양, 용승역으로 나눠 대략적인 평균치로서 각각 100, 50, 300gC/m²/yr로 구분한 것과 비교해볼 때(Ryther, 1969), 남해해역(평균 270gC/m²/day)은 세계해양의 연안역평균치보다 높은 생산력을 보일 뿐만 아니라 황해중부해역(평균 141gC/m²/day)과 동해북부해역보다 훨씬 높다(양, 1990).

아직도 자료의 부족, 조사방법의 차이등으로 절대적인 비교는 어려우나 표에 의하면 제주도 주변연안역의 일차생산력은 영일만, 경기만, 동남해역 등에 비하면 훨씬 낮으나 동해북부, 황해중부등에 비하면 높고 쿠로시오계

표 1. 식물플랑크톤 생물량과 생산량

해역	식물플랑크톤		비고
	생물량	생산량	
제주도 해안가	평균 0.9mgChl/m ³	동계 1.3~7.2mgC/m ³ /day 하계 34.5~117.0mgC/m ³ /day 추계 22.3~63.6mgC/m ³ /day 춘계 8.5~12.0mgC/m ³ /day	이동(1989)
제주도 연안역	0.13~0.58mg Chl/m ³		전·고(1983)
제주도 북부 합동주변 연 안역	0.12~2.24mg Chl/m ³	추계 12.9~229.2mgC/m ² /day 춘계 17.7~225.6mgC/m ² /day 하계 14.7~120.7mgC/m ² /day 동계 0.8~87.7mgC/m ² /day	고(1990)
제주도 서남방 (소크트라 암초주변	0.2~1.24mgChl/m ³		전(1986)
남해해역	3월 0.09~0.86µgChl/l 4월 0.57µgChl/l 11월 0.5µgChl/l	270gC/m ² /yr	해양연구소 (1989, 1990)
동남해역		230~470gC/m ² /yr	Shim <i>et al.</i> (1985)
황해중부해역		141gC/m ² /yr	최등(1988)
동해북부 남수역		>180gC/m ² /yr	Koblentz- Mishke <i>et al.</i> (1970)
영일만(가을)	평균 2.3mgChl/m ³		정(1977)
동남해역	평균 2.28mgChl/m ³	0.7~2.79gC/m ² /day	Shim & Park (1986)
서해 경기만	3.49mgChl/m ³	883.9mgC/m ² /day	정·박(1988)
세계 해양외해역 연안역 용승역		50gC/m ² /yr 100gC/m ² /yr 300gC/m ² /yr	Ryther(1969)
쿠로시오 및 오야시오해		역쿠로시오해역 0.2~0.3gC/m ² /day 오야시오해역 0.6~0.8gC/m ² /day 혼합해역 0.2~0.3gC/m ² /day 연우역 0.5~1.2gC/m ² /day	여름. Aruga- Ichimura(1968)
쿠로시오 및 인접해역	외양역 0.1~0.2mgChl/m ³ 근해역 0.4~1.5mgChl/m ³		Saiio <i>et al.</i> (1969)
동지나해 쿠로시오해역		40gC/m ² /yr	일본과학기술청 자원조사소
일본 三陸沖 오야시오해역		324gC/m ² /yr	" (1970)
日本海		65gC/m ² /yr	"

및 인접 근해역과는 비슷한 양상을 보이고 있다.

2. 동물플랑크톤 生産

동물플랑크톤 생산력에 관해서는 C-14법과 같은 간이실측 수단이 없다. 실제로 이 2次 생산력 추산의 최선의 방법은 아직은 없다는 것이다. 문제는 동물플랑크톤 전체를 다룰 수 있는 생물주요부의 생산을 직접 측정할 수 있는 자료가 거의 존재하지 않기 때문이다. 이것은 2次 생산에 관계되는 중대한 문제로 플랑크톤연구의 역사가 규조류로부터 요각류(Copepods)에 이르는 단순부분에 한해서 좁게 한정된 결과라고 할 수 있다. 즉, 2차생산력을 측정하기 위해서는 적어도 미세플랑크톤(100μ 이하), 소형플랑크톤($100\sim 300\mu$), net플랑크톤(300μ 이상)에 해당하는 3그룹의 생물을 동시에 채집한 자료에 근거해야 하는데, 동시채집이 어렵고, 또 각각의 생물이 서로다른 생활사, 수명, 다양한 식성등을 갖고 있으므로 이 모든 것을 만족시킬 수 있는 방법이 없는 셈이다. 그래서 현재는 대체로 net플랑크톤 자료만으로 추정하고 있다. 그러나 소형플랑크톤은 net플랑크톤의 1~3배, 미소플랑크톤은 net플랑크톤의 10~25%정도로 보고 각각 크기의 생물군의 연간 반복 세대수등을 고려했을 때 동물플랑크톤의 생산은 95% 이상이 소형 및 미소플랑크톤으로 뒀어도 불구하고 소형, 미소플랑크톤의 현존량에 관한 실측치의 기여는 큰 문제가 아닐 수 없다(과학기술청, 1970).

(1) 제주도 해안선 주변

상기에서 지적한 것처럼 동시에 채집이 어려운 점을 극복하기 위한 수단으로 우선 펌프채집을 통하여 두가지 망지(90μ , 330μ)를 사용, 소형플랑크톤 반 net플랑크톤을 동시채집하는 것을 시도했다. 그래서 1987년 6월부터 격월로 1년간 제주도 해안선주변 10개정점에서 부유성갑각류의 현존량과 생산량을 야간에 채집조사했다(Go *et al.* 1989).

그 결과 생물량의 범위는 $6.5\sim 55.0$ (평균 16) mg/m^3 였는데 계절별로는 여름에 높고 겨울에 낮았다. 대부분은 $90\mu\text{m}$ mesh net에 의해 채집된 소형플랑크톤이었으나 생물량에서는 net플랑크톤이 훨씬 많았다(Fig. 5). 지역별로

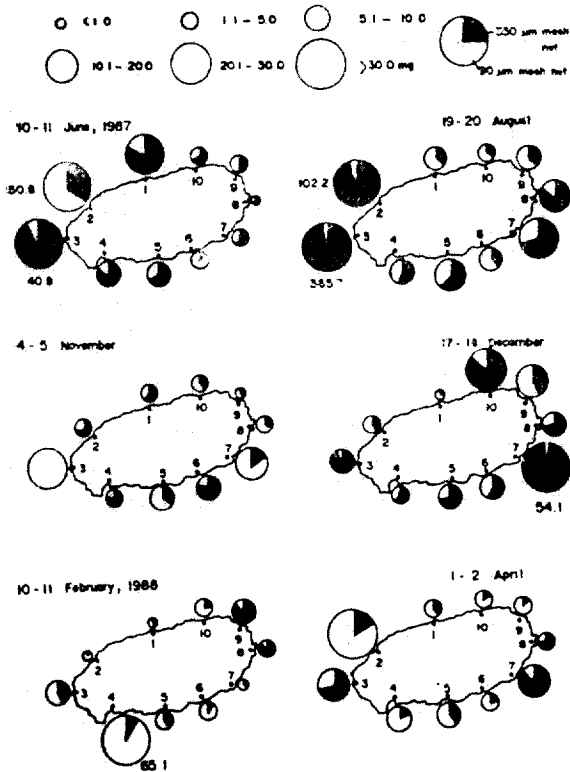


Fig. 5. Seasonal biomass(mgm^{-3}) of planktonic crustacean at respective stations. Figure by circle shows over 30mgm^{-3} .

는 북서쪽이 가장 많고, 다음이 북동쪽이었으며 남쪽이 가장 적게 나타나고 있었다. 생산력은 여름에 $0.37\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$, 겨울에 $0.11\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$ 로서 여름철에 높았다. 생물량에 대한 생산량의 비(P/B)는 평균 0.25로서 수온이 높고 소형동물플랑크톤의 개체수가 많은 계절에 더욱 높게 추정되었다.

해안가 1개정점에서의 경시적 변화를 알기 위하여 1988년 8월부터 1년간 매월 1회씩 아침 10시부터 2시간 간격으로 24시간 상기와 같은 방법으로 펌프채집을 실시했다(강, 1990).

그 결과 일출경과 주간에는 생물량이 감소하거나 상대적으로 적은 상태의

경향을 보였고 일몰경과 야간에는 그 반대의 경향을 보였다. 생물량은 4.3~108.1(평균 24.6)mg/m³의 범위로 여름과 가을에 높고 겨울과 봄에 낮았다. 평균 생물량에 대한 망지별 비율은 소형생물이 49.6%, net플랑크톤 50.4%여서, 이것은 소형의 개체수가 전체의 70%이상을 점유하는 것에 비해 양적으로 적음을 나타내고 있다.

주간에는 간조시 뚜렷한 경향이 없었으나 만조시 생물량이 상대적으로 적은 경향을 보였고, 일몰경 간조시에는 증가경향 또는 생물량이 상대적으로 많은 상태인 반면 만조시에는 적은 상태를 유지하였다. 야간에는 간조시 감소경향을 나타냈으나, 만조시 대체로 증가경향을 보였으며, 일출경에는 간조시 만조시 모두 감소 또는 생물량이 상대적으로 적은 경향을 보여주었다. 주야별 생물량은 2월, 7월, 8월을 제외하고는 야간이 주간보다 1.5~13.3배 정도 높은 비율을 나타냈다. 채집기간동안의 연간 생산력은 0.66mgC/m³/day였고 그중 소형생물에 의한 것이 0.48mgC/m³/day였으며 P/B는 평균 0.34로서 높은 값을 보여 주었다.

(2) 제주도 연근해

제주도 북방 함덕연안에서 수심 25m미만의 만내 3개정점과 수심 120m전후의 외해 3정점에서 1989년 4월~1990년 3월까지 월 1회씩 MTD net(망목 크기 330 μ m, 구경 56cm)로 표층채집한 결과 평균 생물량은 만내에서 18.6 mg/m³, 만외에서 5.2mg/m³였다(고, 고 1990). 계절별로는 4월(평균 18.7 mg/m³)과 5월(12.3mg/m³)에 조금 높았다가 6월에 격감하고, 8월부터 다시 높아지기 시작하여 10월에 31.9mg/m³, 2월에 0.8mg/m³ 3월에 1.0mg/m³를 보였다. 조사기간동안의 평균 일일생산력은 0.14mgC/m³/day로서 만내역(평균 0.25mgC/m³/day)이 만외역(0.09mgC/m³/day)보다 2.8배 높았다. P/B는 평균 0.17로서 만내와 만외와의 차이가 거의 없었으나 일반적으로 냉수운기인 11~5월까지 낮은 값을 보이다가 고온기인 6~10월까지 높게 나타나는 경향을 보였다.

1981년부터 1986년까지 제주대학교 실습선에 의해 년 2~3회 정기적으로 제주도 주변해역에서 MTD플랑크톤네트로 표층에서 50m까지 수직채집한

것을 중심으로 net플랑크톤의 생물량과 생산력을 측정하였다(오, 1987).

그 결과 연구해역의 생물량(mg wet wt./m³)을 4계급(<10mg, 10~50mg, 50~100mg, 100mg/m³)으로 나눈 분포양상을 Fig. 6에 나타냈다. 한절기(11~5월)에는 제주도 동남방해역에서 상대적으로 높게 나타나고 제주해협을 포함한 제주도 북방해역에서 낮은 값을 보이고 있었다. 즉, 제주도 동남방해역에서 제주도와 오도열도 사이의 중간해역에서 50~100mg/m³ 또는 100mg/m³이상의 높은 값을 보이고 있으며 제주도 쏠연안을 포함하여 동방 및 서방의 해역에서부터 Socotra암초주변을 포함한 넓은 해역, 오도열도 근해 및 제주도 서북방 소흑산도 남해부근에서는 10~50mg/m³로 비교적 낮은 값을 나타내고 있었다. 한편 제주해협을 포함한 추자도, 보길도부근, 제주도 서방 및 소흑산도를 중심으로 한 주변해역에서는 아주 낮은 값인 10mg/m³ 이하를 보였다.

온절기(6~10월)에는 한절기보다 높은 생물량 값의 범위가 넓게 분포하였다. 제주도의 온남방해역 및 서북방해역에서 매우 높은 값(50~100mg/m³)

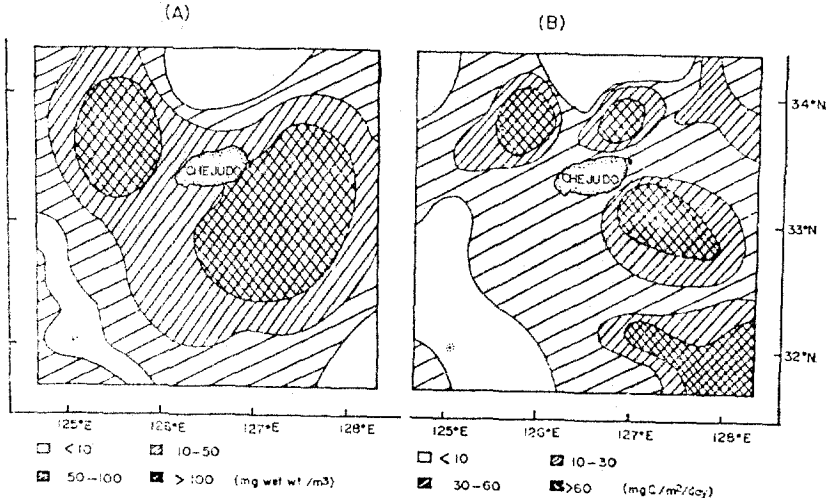


Fig. 6. Distribution of biomass(mg wet weight/m³) (A) and secondary production (mg Carbon/m²/day) (B) of zooplankton in 0~50m water column during warm season(June-October) from 1981 to 1986.

을 나타내고 있는 반면, 보길도를 중심으로 한 제주해협, Socotra암초 주변 및 오도열도 근해에서 낮았다. 이상의 결과로부터 단위체적당 평균생물량은 한절기와 온절기에 있어서 각각 48.8, 77.8mg/m³로 온절기에 더 높고, 지역별로는 한절기에는 제주도 동남방해역에서, 온절기에는 제주도 서북방해역에서 상대적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이 조사기간동안의 평균 생산력은 21.2mgC/m²/day로서 한절기에는 제주도 동남방해역에서 상대적으로 높고, 그 외의 해역에서는 부분적으로 높은 소규모해역을 제외하고는 극히 낮은 생산력을 보였다. 즉, 제주도 동남방해역인 제주도와 오도열도 사이의 중간해역에서 30~60mgC/m²/day로 생산력이 높고 그 주위를 10~30mgC/m²/day 정도의 생산력이 추정되었다. 또한 Socotra 암초주변과 제주도 서북방해역 및 추자도 북서부해역에서 상대적으로 주위보다 조금 높은 값(10~30mgC/m²/day)을 제외하면, 제주도 쏠연안을 둘러싸는 넓은 해역에서는 매우 낮아 10mgC/m²/day이하의 값을 보이고 있다.

온절기에는 Socotra암초 주변해역, 소흑산도 서북부 및 보길도 주변해역 등(10mgC/m²/day)을 제외하면 대체로 높은 생산량을 보이고 있어서 제주도 동남방, 제주도와 소흑산도 사이의 중간, 제주도와 보길도사이의 중간해역 등에서 60mgC/m²/day 이상의 높은 값을 보였으며, 그외의 해역 특히 상대적으로 높은 생산량을 나타내는 해역을 중심으로 둘러싸고 있는 형태의 해역에서는 10~30mgC/m²/day 정도의 값을 나타내고 있다. 이상의 결과로부터 한절기와 온절기의 생산량은 그 수치에서 큰 차를 보여 온절기(평균 31.5mgC/m²/day)에서가 한절기(평균 13.0mgC/m²/day)에 비해 2.4 배정도 높으며, 높은 생산을 나타내는 해역도 계절에 따라 현저히 달라서 한절기에는 제주도 동남방해역이, 온절기에는 일부 동남방해역과 북방해역이 상대적으로 높아 생물량분포와 유사함을 보이고 있다.

한편 생물량에 대한 생산량의 비(P/B)는 한절기에 평균 0.07, 온절기에 평균 0.12로서 온절기가 한절기보다 약 1.7배 높아서 온도가 높을수록, 또한 생물량은 적으나 개체수가 많을수록(즉, 생물개체의 크기가 작은 것이

표 2. 동물플랑크톤 생물량과 생산량

해역	동물플랑크톤		P/B	비고
	생물량 (mg/m ³)	생산력		
제주도 해안가	16	여름 0.37mgC/m ³ /day 겨울 0.11mgC/m ³ /day	0.25	Go et al. (1989)
제주도 북방 함덕 해안가	24.6	0.18mgC/m ³ /day	0.34	강(1990)
제주도 주변해역	한절기 48.8 은절기 77.8	13.0mgC/m ² /day 31.5mgC/m ² /day	0.07 0.12	0~50m, ? (1987)
제주도 주변해역	3월 55 8월 65			박(1973)
제주도 동지나해	50~100			Hattori and Motoda(1983)
제주도 북방 함덕 연안 해역	9.4	0.14mgC/m ³ /day	0.17	고·고(1990)
제주도 북방 용두암 해 안가	1.4~10.9	약 0.1mgC/m ³ /day	0.3	고 등(1989)
천수만		8.4gC/m ² /yr		Shim and Yun (1990)
한국 근해 해역	서해 78 남해 76 동해 54			0~10m, 강·이(1991)
일본 내해		겨울 0.6mgC/m ³ /d- 여름 4.9mgC/m ³ /d-		Uye et al(1987)
오오사까만		겨울 0.8~2.5mgC/m ² /d-		Joh and Uno (1983)
베링해	286.1	여름 59~85mgC/m ² /d- 40mgC/m ² /day	0.28 0.024	여름 0~72m, Ikeda & Motoda(1978b)
북부북태평양	244.1	43mgC/m ³ /day	0.022	여름 0~150 Ikeda & Motoda(1978a)
북동부 동지나해	여름 100 겨울 50~100	31~60mgC/m ² /day 11~30mgC/m ² /day		Ikeda & Motoda(1978a)
일본 남동해역	겨울 10~50	11~30		0~150m Ikeda & Motoda (1978a)
아열대 해역	여름 10	Ca. 10mgC/m ² /day		0~150 Ikeda & Motoda (1978)

많을수록) 그 값이 높게 나타나고 있었다.

동물플랑크톤 생물량 및 생산력에 관한 제주도 주변 및 다른 해역의 연구 결과를 표 2에 나타냈다. 동물플랑크톤 생물량 및 생산력은 채집방법, 대상 생물, 계절 및 수심등에 따라 각기 다르기 때문에 절대적인 비교가 어렵다. 그러나 대체적으로 보아 제주도 해안선주변의 부유성갑각류의 생물량은 낮아 년평균 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 이하이고, 동지나해와 제주도 연안에서는 그보다 조금 높아 $50\sim 100\text{mg}^3$ 로 우리나라의 동서남해와 비슷하나, 베링해를 포함하는 북부북태평양에서의 $250\text{mg}/\text{m}^3$ 정도 보다는 훨씬 낮게 나타나고 있다.

수괴의 평균생산력 역시 제주도 주변해역은 (아)한대 해역에 비해 낮으나 생물량에 대한 생산량의 비(P/B)는 훨씬 높게 나타나는 특징을 보이고 있다. 이러한 특징은 제주도 해안가 및 주변해역의 저차생산과 영양염등이 낮음에도 불구하고 생물의 좋은 서식처가 되고 산란장 및 어장으로서의 가치를 충분히 발휘해줄 수 있는 요인중의 하나임을 나타내고 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 강순석, 1991. 제주해협 표층퇴적물의 특성. 제주대 석사학위논문, p. 63.
- 강영실·이삼석, 1991 한국근해 동물부유생물 현존량의 계절적 변동에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고. 45, 13-21.
- 강형문, 1990. 제주도북방 해안선주변 부유성갑각류의 현존량 일주변화와 생산량 추정, 제주대 석사학위논문. p. 70.
- 고유봉·전득산, 1984. 제주도 삼양연안 지역에서의 플랑크톤 연구. 제주대 해자 연보. 8, 19-30.
- 고유봉·신희섭·정용진, 1989. 제주도 해안선주변 1개정점(용두암근처)에서 부유성 갑각류 현존량의 일주변화. 제주대 해양연보. 13, 9-15.
- 고유봉·고경민, 1990. 제주도 북방 함덕 해역 부유성 갑각류의 현존량과 생산량 추정, 한국지구과학회지. 11(3), 270-275.
- 고형범, 1990. 제주도 북방 함덕 해역의 식물플랑크톤 군집구조 및 동태. 제주대 석사학위논문. p52.
- 科學技術廳 資源調査所, 1970. 海洋生物の生産力把握に關する調査, 資料 第81號. p. 289.

- 김 구, 1980. 한국남서해의 해류에 관한 연구, 한국과학재단 연구보고서, p. 68.
- 김 구, 1987. 제주도 주변 해류에 관한 연구의 현재와 미래. 제주도 연구 제 4집, 83-97.
- 김인옥, 1986. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구, 제주대 석사학위논문. p. 45.
- 노홍길, 1985. 제주도 주변해역의 어장 해양 환경에 관한 연구, 동경대학 박사학위논문. p. 215.
- 박길순, 1982. 제주도 연안해역의 영양염류에 관한 연구, 한국수산학회지 15(4), 255-262.
- 박주석, 1970. 한국근해의 모악류에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고, 6, p. 174.
- 박주석, 1973. 한국근해 동물성부유생물의 주요군의 양적분포. 한국해양학회지, 8(1), 33-45.
- 방익찬·김태희, 1989. 동지나해 해수분포의 계절변화와 해수순환. 제주대 논문집, 28, 61-73.
- 방익찬·김태희, 1990. 황해와 동지나해 해수순환에 대한 바람의 영향. 제주대 논문집, 31, 49-61.
- 방익찬·김태희, 1991. 황해난류수와 황해저층냉수. 제주대 논문집, 32, 43-53.
- 양동범, 1990. 한국 연근해의 기초생산. 1990년도 추계심포지움. 한국 연근해 잠재생물 생산력 추정과 이용. 한국수산학회, 한국어업기술학회, 1-26.
- 양한섭, 1991. 한반도 근해의 해류와 해수특성 II. 여름철 제주도 주변 해역 중저층에 출현하는 수괴의 지리적 분포와 화학적 특성. 한국수산학회지, 24(3), 177-184.
- 오봉철, 1987. 제주도 주변해역의 동물플랑크톤생산량 추정과 군집구조에 관한 연구, 제주대 석사학위논문, p. 67.
- 宇田道隆, 1934. 日本海及び“基の隣接海區の海況”. 水産試験場報告, 5, 57-190.
- 宇田道隆, 1936. 日本海及び“基の隣接海區の海況”, 水産試験場報告, 7, 91-151.
- 윤용훈·박용항·봉종현, 1991. 황해저층냉수의 특성과 남하에 대한 재조명, 한국지구과학회지, 12(1), 25-37.
- 윤경수·고기원, 1987. 제주남방해역 표층퇴적물의 특성. 한국해양학회지, 22(3), 130-142.
- 이광우·곽희상·이수형·이동수, 1978. 여름철 한국연안해수층의 영양염 함량. 한국해양학회지, 13(2), 17-25.
- 이석모, 1987. 하계 동해남부해역의 자정능력 평가. 한국수산학회지, 20(1), 69-78.

- 이준백·최영찬·고유봉, 1989. 제주도 해안선 주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지, 10, 62-67.
- 이진환·한명수·허형택, 1981. 진해만의 적조원인생물에 관한 연구. 해양연구소보, 3, 97-105.
- 전득산·고유봉, 1983. 제주도 주변해역의 Chlorophyll-a 함량분포. 제주대 해자연, 7, 23-27.
- 전득산, 1986. 파랑도(소코트라 암초)와 그 주변해역의 다목적 이용개발을 위한 조사 연구 (1). 한국과학기술원 해양연구소 BSPE 00074-107-1, 98-111.
- 경경호·박용철, 1988. 서해경기만의 기초생산력 및 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구. 한국해양학회지, 23(4), 194-206.
- 최영찬·고유봉·이준백, 1989. 제주도 해안선 주변의 해수특성. 한국지구과학회지, 10(1), 54-61.
- 최중기·박용철·김용철·이영철·정창수·손승규·황학진·한범석, 1988. 서해연안 어장의 생산력조사. 국립수산진흥원 연구보고, 42, 143-168.
- 해양연구소, 1989. 한국해역 종합해양 자원도 작성연구-남해. 해양연구소보고서 BSPG 00091-251-7, p.523.
- 해양연구소, 1990. 한국해역 종합해양 자원도 작성연구-남해. 해양연구소보고서 BSPG 00116-313-3, p.329.
- Aruga, Y. and S. Ichimura, 1968. Bull. Misaki Mar. Biol. Inst. Kyoto Univ., 12, 3-20.
- Byun, S.K. and K.I. Chang, 1988. Tsushima current water at entrance of the Korea Strait in Autum. Prog. Oceanog., 21, 259-306.
- Chough, S.K., 1985. Further evidence of fine-grained sediment dispersal in the Southeastern Yellow Sea. Geol., 41, 159-172.
- Emery, K.O., Y. Hayashi, T.W.C. Hilde, K. Kobayashi, J.H. Koo, C.Y. Meng, H. Niino, J.H. Wegeman, C.S. Wang and S.J. Yang, 1969. Geological structure and some water characteristics of the East China Sea and Yellow Sea. U.N. ECHF-CCOP, Tech. Bull., 2, 3-34.
- Go, Y.B., Lee, J.B. and Choi, Y.C., 1989. Standing stock and production of planktonic crustaceans around coast line of Cheju Island from June 1987 to April 1989. J. Kor. Earth Sci. Soc., 10(1), 65-72.
- Hattori, H. and Motoda, S., 1983. Regional difference in zooplankton communities in the western North Pacific Ocean(CSK data). Bull. Plankton Soc. Japan, 30(1), 53-63.
- Hsueh, Y. and I.C. Pang, 1989. Coastally trapped long waves in the Yellow Sea. J. Phys. Oceanog., 19(5), 612-625.

- Ichie, T. 1984. Some problems of circulation hydrography of Japan Sea and the Tsushima current; In ocean hydrodynamic of the Japan and East China Sea. T. Ichie(ed), Elsevier, Amsterdam, 15-54.
- Ikeda, T. and Motoda, S., 1978a. Estimated zooplankton Production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent Seas. Fish. Bull. NOAA, U.S., 76(2), 357-366.
- Ikeda, T. and Motoda, S., 1978b. Zooplankton production in the Bering Sea. Calculated from 1956~1970 Osho Maru Data. Mar. Sci. Comm., 4(4), 329-346.
- Joh, H. and S. Uno, 1983. Zooplankton standing stock and their estimated production in Osaka Bay. Bull. Plankton Soc. Jap., 30, 41-51.
- Kim, K. and S.H. Lee, 1982. Vertical homogeneous water along the west coast of Cheju Island. J. Oceanol. Soc. Korea, 17(2), 59-68.
- Koblentz-Mishke, O.I., V.V. Volkovinskii and Y.G. Kabanoja, 1970. Primary production of the world ocean in L.A. Zenkevitch(ed) Programma imetodica izuchenija biogecenozov vodnoj sredy, Nauka, Moscow, 66-83.
- Kondo, M., 1985. Oceanographic investigation of fishing grounds in the East China Sea and the Yellow Sea—1. Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50m and near bottom. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab., No. 62, 19-66.
- Lie, H.J., 1984. A note on the water masses and general circulation in the Yellow Sea(Hwanghae). J. Oceanol. Soc. Korea, 19(2), 187-194.
- Mitta, T. and Y. Ogawa, 1984. Tsushima current measured with current meter and drifters.: In Ocean hydrodynamic of the Japan and East China Sea. T. Ichie(ed), Elsevier, Amsterdam, 15-54.
- Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Fac. Mar. Sci. Technol., Univ. Tokai, Japan, Spec. Nov., 199-366.
- Pang, I.C., 1987. Theory of coastally trapped waves and its application to the Yellow Sea. Ph. d. dissertation, Florida state Univ., Tallahassee, p. 128.
- Park, B.K. and S.J. Han, 1985. The distribution of clay minerals in recent sediment of the Korea Strait. Sed. Geol., 41, 173-184.
- Park, Y.H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 20(2), 12-21.
- Park, Y.H., 1986. A simple theoretical model for the Southern Yellow Sea.

- J. Oceanol. Soc. Korea, 21, 230-310.
- Ryther, J.H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*, 166, 72-76.
- Saijo, Y.S. Izuka and O. Asaoka, 1969. Chlorophyll maxima in Kuroshio and adjacent area. *Mar. Biol.*, 4, 190-196.
- Shim, J.H. and C. Park, 1982. On the composition and the abundance of zooplankton in the Yellow Sea in April 1981. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17(2), 95-101.
- Shim, J.H. and Y.C. Park, 1984. Community structure and spacial distribution of phytoplankton in the Southwestern Sea of Korea, in early summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 68-81.
- Shim, J.H., W.H. Lee and S.Y. Bak, 1985. Studies on the plankton in the Southwestern waters of the East Sea(Ⅱ). *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20, 37-54.
- Shim, J.H. and K.H. Yun, 1990. Seasonal variation and production of zooplankton in Chonsu Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25(4), 229-239.
- Uye, S., K. Kawata and T. Endo, 1987. Standing stocks and production rates of phytoplankton and planktonic copepods in the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 42(6), 421-434.
- Yang, H.S. and S.S. Kim, 1990. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula 1. Physical processes influencing the surface distributions of chlorophyll and nutrient in the Southern Sea of Korea in summer. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 23(6), 417-424. Fig. 2. Phosphate distribution at 10m (upper) and 50m (lower) layers in the coastal sea of Jeju island, June, 1981.