

1996년 제주도에 나타난 대형저서동물의 대량폐사: 물리해양학적 요인의 역할

서해립 · 조양기 · 서호영 · 김대환¹

(전남대학교 지구환경과학부, 해양연구소, ¹제주해양수산청 어촌지도과)

적 요 - 1996년 여름 제주도 서쪽 해안에서 전에 볼 수 없을 정도로 유용 대형저서동물이 대량으로 죽어, 전복, 오분자기, 소라, 해삼, 말뚝성게에 큰 피해를 주었다. 제주도 해안에서 식물플랑크톤 대발생은 없었고, 대량폐사가 일어나기 전에 해안에서 표층 저염수가 나타났기 때문에 저염분 스트레스가 대량폐사에 결정적인 영향을 미쳤을 것으로 여겨진다. 같은 기간 관측된 강수량이 적어, 강수량으로 저염화를 설명하지 못한다. 국립수산진흥원(1997)이 관측한 자료는 1996년 8월 제주도와 중국 사이 해역에 표층 저염수가 나타난 것을 확실히 보여준다. 제주도 서쪽 해안에 나타난 표층 저염수는 다량으로 유출된 강물이 그 기원일 가능성이 가장 높다. 해류와 양자강에서 제주도까지 거리 등도 표층 저염수가 양자강에서 방류된 강물에서 기원한 것이라는 가설을 지지한다.

서 론

해양생물의 대량폐사는 환경의 급격한 변화에 생물이 적응하지 못해서 나타나는 경우가 많다(Sinderman & Swanson 1979). Boesch & Rosenberg (1981)와 Hartley (1982)는 유기물이나 독성물질 등에 의한 오염으로 저서동물이 대량폐사한 예를 보고했고, 해수 교환이 잘 되지 않는 내만에서는 여름에 표층수온이 올라갈 때 성층화 현상이 일어나면서 표층에서 저층으로 산소가 충분히 공급되지 않아 저서동물이 대량폐사하기도 한다 (Degobbi 1989; Yang & Hong 1988). 우리나라 연안에서 대형저서동물(체장 1 mm 이상)의 대량폐사는 생물을 고밀도로 사육하는 양식환경에서 주로 나타난다. 양식 배합, 굴, 바지락의 대량폐사가 그 좋은 예지만 지금까지 대량폐사의 원인이 명확하게 밝혀진 경우는 매우 드물고(Ho & Zheng 1994), 질병과 해양환경의 급격한 변화(오염, 고수온, 빈산소 등)가 단독 혹은 복합적으로 작용하여 대량폐사를 일으켰을 것으로 추정하는 것이 대부분이다.

제주도 주변해역은 해수 특성이 계절적으로 크게 변하여 겨울에는 저온 고염이고 여름에는 고온 저염의 해수가 나타나고, 수온과 염분의 계절변화 폭은 각각 평균 약 17°C와 3‰에 이른다(공 1971; 강 1974). 1996년 8월 1일에서 10일 사이에 해양 조사한 결과에 의하면, 제

주도 서쪽 해역에서 염분 20‰ 이하의 표층 저염수가 나타났는데, 그 저염수에서 영양염류 농도가 높게 나타난 것과 주변해역의 영양염류 분포 양상을 종합하여 저염수의 기원을 양자강 유출수로 추정했다(김 등 1998). 그러나 제주도 해안에 나타난 저염수는 아직 보고되지 않았고, 그 기원을 기상과 해양조사 자료를 가지고 정량적으로 분석한 예도 없다.

이 연구에서 1) 대형저서동물의 대량폐사 현상을 파악하고, 2) 대량폐사가 일어난 시기에 제주도 해안에 나타난 저염수를 추적하고, 3) 저염수의 기원을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

1996년 8월 8일 오전 9시경에 한림읍에서 해녀가 작업 중에 소라 전복 등이 대량으로 죽어있는 것을 발견하고, 이어 16일까지 제주도 서쪽 해안을 따라 일곱 군데에서 비슷한 현상이 확인되었다(Fig. 1). 대형저서동물의 대량폐사는 제주도 서쪽 해안을 따라 북제주군 한림읍 귀덕1리에서 남제주군 대정읍 동일리까지 약 35 km에 걸쳐 수심이 3m보다 얇은 곳에서 주로 나타났다. 대량폐사가 일어난 현장을 확인함과 동시에 해수특성을 조사하고 저서동물을 정량적으로 채집했다. 대형저서동물은 SCUBA 잠수하여 수심 3m 부근에서 조사장소에 따라 5×5 m (25 m²) 방형구를 1~4개 설치하여 정량 채

Table 1. Percentage of mortality of macrobenthic animals collected quantitatively from 1 to 3 m depth of 7 sites in the western coast of Cheju Island in summer of 1996. Commercial macrobenthic animals include 7 species, 4 molluscs [*Haliotis discus discus* (HDD), *Haliotis diversicolor aquatilis* (HDA), *Batilus cornutus* (BC) and *Octopus minor* (OM)] and 3 echinoderms [*Sticopus japonicus* (SJ), *Anthocidaris crassispina* (AC) and *Hemicentrotus pulcherrimus* (HP)]. Location of site as shown in Fig. 1

Site	Date	Sample area (m ²)	% of mortality							Total
			HDD	HDA	BC	OM	SJ	AC	HP	
1	10 Aug.	100	0(0/2)	33(1/3)	—	—	—	0(0/8)	8(1/12)	8(2/25)
2	11 Aug.	50	100(27/27)	100(9/9)	75(6/8)	—	—	0(0/18)	71(15/21)	69(57/83)
3	10 Aug.	200	—	100(18/18)	2(2/92)	100(1/1)	100(1/1)	0(0/50)	67(40/60)	28(62/222)
4	11 Aug.	50	—	100(12/12)	18(2/11)	—	100(4/4)	0(0/50)	24(14/59)	24(32/136)
5	12 Aug.	25	100(1/1)	0(0/1)	0(0/1)	—	100(1/1)	0(0/3)	—	29(2/7)
6	13 Aug.	25	—	100(122/122)	100(2/2)	—	—	0(0/3)	100(4/4)	98(128/131)
7	16 Aug.	25	—	100(1/1)	0(0/21)	—	—	0(0/25)	0(0/17)	2(1/64)
Total		475	93(28/30)	98(163/166)	9(12/135)	100(1/1)	100(6/6)	0(0/157)	43(74/173)	43(284/668)

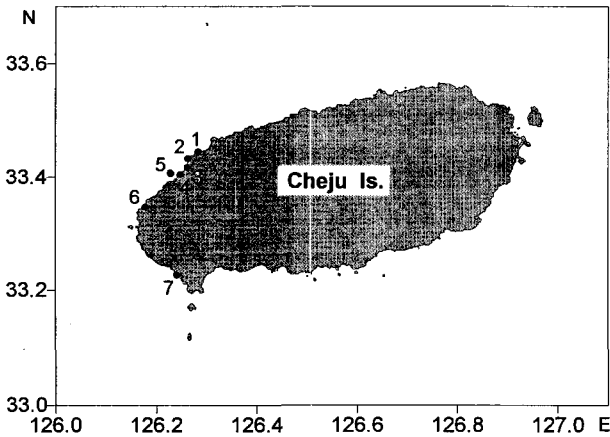


Fig. 1. Map of Cheju Island showing locations of sampling sites where mass mortality of macrobenthic animals occurred. 1, Kwidok; 2, Suwon; 3, Hansu; 4, Ongpo; 5, Piyang; 6, Shinchang; 7, Tongil.

집했다. 채집한 대형저서동물은 모두 수조에 넣고 30분간 움직임 관찰하여 생사를 판단하고 폐사율(= 죽은 마리수 ÷ 전체 마리수)을 구했다.

해수특성은 현장에서 채수하여 봉상온도계와 비중계로 수온과 비중을 잴고, 이 자료에서 염분을 환산했다. 제주도 해안의 염분자료는 소수점 이하를 버리고 사용했다. 8월 5일에서 16일까지 11일간 제주도 전 해안에서 총 114회에 걸쳐 수온과 염분을 측정했다. 아울러 6월과 8월 제주도 주변해역의 물리해양 자료는 해양조사연보(국립수산진흥원 1997)를 참고했다.

결 과

1. 대형저서동물의 대량폐사

1996년 8월 제주도 해안에서 연체동물문에 속하는 전

북(*Haliotis discus discus*), 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*), 소라(*Batilus cornutus*), 낙지(*Octopus minor*)와 극피동물문에 속하는 해삼(*Sticopus japonicus*), 보라성게(*Anthocidaris crassispina*), 말뚝성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*) 같이 수산업의 대상이 되는 대형저서동물이 대량으로 사망했다. 이 가운데 사망률이 90% 이상으로 높게 나타난 종은 낙지, 전복, 오분자기와 해삼이었고, 사망률이 10% 이하로 나타난 종은 소라와 보라성게였다(Table 1). 그리고 지역별로는 환경면 신창리와 한림읍 수원리 해안에서 사망률이 50% 이상으로 나타나 다른 곳보다 높았다.

이밖에도 산업적으로 중요하지 않지만 바다방석고둥(*Tegula pfeifferi*), 명주고둥(*Tegula xanthostigma*) 등 소형 고둥류와 분홍성게(*Pseudocentrotus depressus*), 큰염통성게(*Brissus agassizi*) 등 성게류와 등근거미불가사리(*Amphiodia craterodmeta*)도 죽은 채로 많이 발견되었다.

2. 제주도 해안 및 주변해역의 수온과 염분

1996년 6월과 8월 제주도 주변 해역의 표층 수온 분포는 Fig. 2와 같다. 6월 제주도 주변의 수온은 21°C 내외이고 8월에는 수온이 크게 상승하여 29°C 내외이다. 남해 전체 수온 분포에 있어서 제주도 주변 해역에 특별히 수온이 높거나 낮은 수괴가 발견되지는 않는다.

같은 기간 염분 분포는 Fig. 3과 같다. 남해 전체의 6월 염분은 34‰ 내외이고, 제주도 주변 해역의 염분은 대부분 33‰ 이상이다. 제주도 서쪽 약 150 km 해역에서 32‰ 이하의 저염수가 나타나나 모두 30‰ 이상이다. 8월의 경우 6월에 비해 염분이 크게 낮아져 남해는 31‰ 내외이고, 제주도 서쪽 해역에는 30‰ 이하의 저염수가 가로 세로 약 180 km 이상의 넓은 범위에서 나

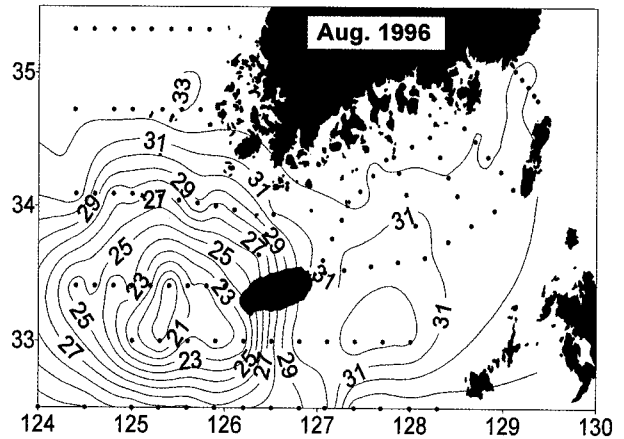
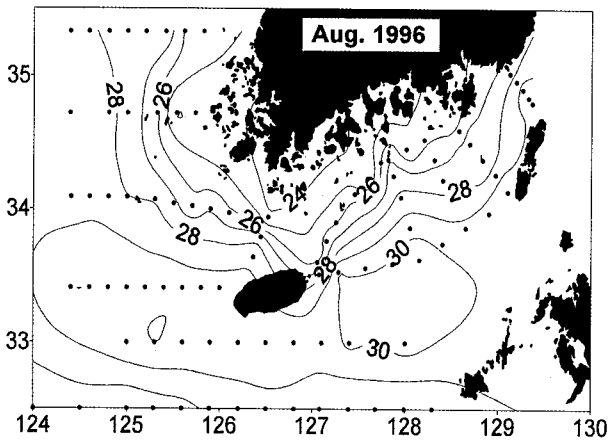
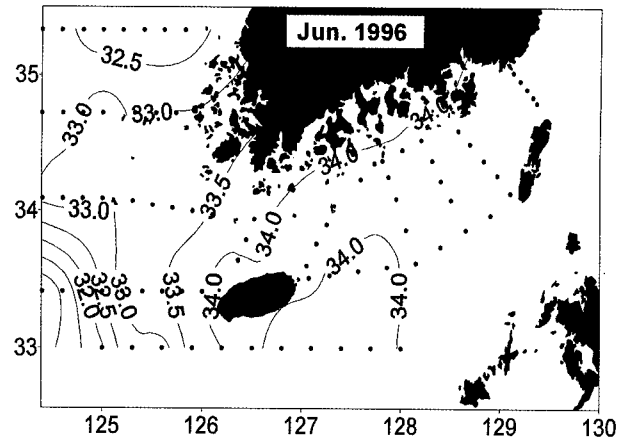
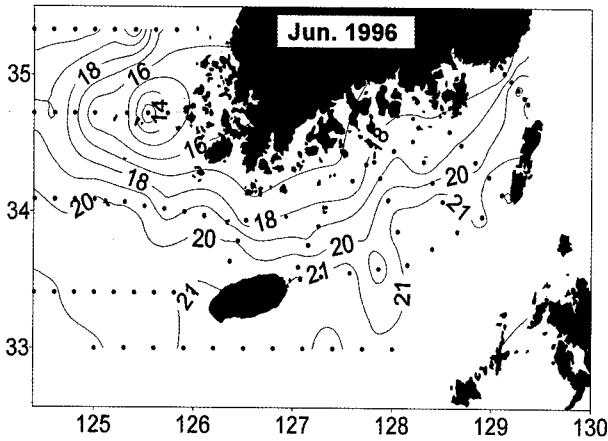


Fig. 2. Temperature distribution (°C) at surface in June and August 1996.

Fig. 3. Salinity distribution (psu) at surface in June and August 1996.

타난다. 저염수의 핵은 21% 이하로 6월의 가장 낮은 저염수와 비교하면 약 10%가 낮다.

저염수의 두께를 알아보기 위하여 제주도 서쪽 해역의 저염수 핵을 동서방향으로 가로지르는 단면(국립수산진흥원 313 관측선)을 살펴보았다(Fig. 4). 표층 염분 분포에서 알 수 있듯이 6월에는 서쪽 해역 일부 표층수를 제외하고 대부분 33% 이상이다. 8월에는 전체 단면에서 30% 이하의 저염수가 약 10m의 두께로 나타나 강한 염분약층이 관측되었다. 20m 수심 변화에 염분이 약 10% 증가하여 염분의 수직구배는 약 0.5%/m에 이른다.

Fig. 5는 1996년 8월 5일부터 16일까지 제주도 해안에서 연속적으로 관측한 염분 분포도이다. 8월 5일부터 10일 사이에 관측된 자료에 의하면 제주도 동쪽 해안은 30% 이상의 고염수가 존재하나 서쪽 해안에 25% 이하의 저염수가 존재함을 보여준다. 8월 12일에는 제주도 해안이 대부분 30% 이하의 저염수로 둘러싸이고 이러

한 현상은 13일에도 지속되다 8월 16일에는 서쪽 해안부터 염분이 30% 이상의 해수가 관측되었다.

고찰

1. 대량폐사와 염분

1996년 8월 제주도 서쪽 해안에서 전복, 소라, 오분자기, 성게 해삼이 함께 대량으로 죽은 채 발견된 것은 제주도 해안에서는 전에 보기 드문 현상이다. 이처럼 여러 분류군에 걸쳐 폐사가 일어났다면 질병보다는 환경의 급격한 변화가 원인일 가능성이 높다. 그것은 일반적으로 질병을 일으키는 원인생물이 종특이성(species-specific)을 가지므로 여러 분류군에 걸쳐 동시에 영향을 미쳤다고 보기 어렵기 때문이다. 따라서, 해양환경의 급격한 변화가 대량폐사에 영향을 미쳤는지를 알아보기 위해, 해양환경을 생물, 화학, 물리학적 요인으로 나누어 검토할 필요가 있다. 먼저, 생물학적 요인으로 식물플랑크

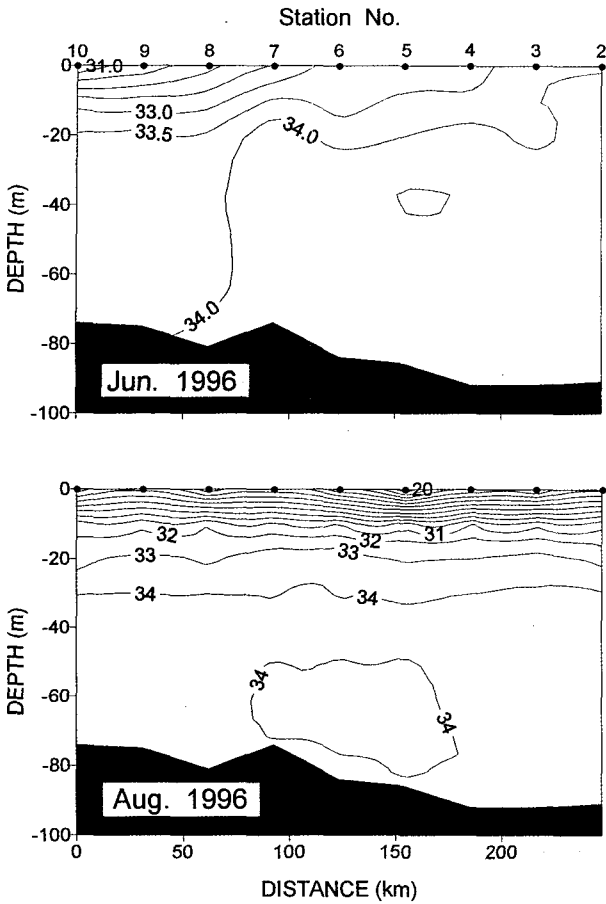


Fig. 4. Salinity (psu) section along the 313 line of NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute) of Korea in June and August 1996.

톤의 대발생 또는 적조가 해양생물의 대량폐사를 일으키는 것으로 잘 알려져 있지만(김 등 1997) 선상이나 수중에서 물 색깔의 변화로 적조를 쉽게 알 수 있음에도 불구하고 현장에서 특이점을 발견할 수 없었기 때문에 적조를 폐사원인으로 보기 어렵다. 그리고, 화학적 요인으로 중요한 용존산소는 이 연구에서 조사하지 않았지만 대량폐사가 일어난 해안이 외해로 열려있어 해수 교환이 활발한 곳이므로(강 등 1996), 용존산소가 폐사의 요인으로 작용했을 가능성은 매우 낮다. 하지만 제주도 해안에도 예년에 볼 수 없게 염분이 25% 이하로 내려가는 저염수가 나타났고, 비슷한 시기에 대형저서동물이 대량으로 폐사했다. 일반적으로 전복과 소라 같은 대형저서동물은 저염수를 싫어하고(원과 한 1998) 이동력도 약하므로(유 1995), 저서동물이 사는 해안에 저염수가 나타난다면 이들에게 치명적인 영향을 줄 수 있다. 그러므로 물리학적 요인, 특히 염분의 급격한 변화가 대

량폐사에 영향을 주었을 가능성은 충분하다.

1996년 대량폐사가 일어난 시기에 제주도 전역 해안에서 측정된 해양환경 자료를 보면, 제주도 서쪽 해안에 25% 이하 저염수가 약 1주일 동안 나타났다 사라졌다(Fig. 5). 그리고 저염수의 출현과 대량폐사가 발생한 시기가 거의 일치했다(Table 1). 대량폐사가 일어난 곳에서도 동물군에 따라 사망률이 다르게 나타났다. 전복, 오분자기, 해삼의 사망률이 높았고, 성게류는 비교적 낮았다. 성게류에서도 보라성게는 저염에 매우 강했다. 한림읍 한수리에서 죽은 낙지가 발견된 것은 저염수가 짧은 시간에 넓은 범위에 걸쳐 나타난 것으로 볼 수 있다.

최근, 원과 한(1998)은 각장 2~3cm인 전복과 오분자기의 저염분 내성을 실험하여, 수온과 염분이 29°C와 20‰일 때 반치사시간(LT₅₀)은 각각 4, 5시간이고, 전복은 25‰에서는 72시간 후 사망률이 13.3%라고 보고했다. 이러한 결과는 25% 이하의 저염수가 제주도 해안에 사는 대형저서동물에 직접적인 영향을 미쳐 대량폐사를 일으켰다는 가설을 뒷받침해 준다.

제주도에서 대량폐사가 일어난 해안의 수심이 3m보다 얕은 곳이고, 이곳에 3~7cm 정도의 어린 전복을 방류하여 성육장으로 이용하고 있다. 조사장소의 저질은 대부분 바위와 암초로 되어 있고, 바위틈에 죽어있는 개체는 채집할 수 없었기 때문에 실제 더 많이 죽었을 것으로 여겨진다. 그러므로 어린 패류가 대량 사망한 해안에서 패류 생산량은 몇 년에 걸쳐 감소할 것이다.

2. 제주도 해안 및 주변해역의 수온 염분 분포

한국근해 평년 해황도(국립수산진흥원 1986)에 따르면, 과거에도 30% 이하의 저염수가 여름철에 자주 나타났으나 대부분 제주도로부터 수십 km 이상 떨어져 있었다. 그러나 1996년 8월에는 제주도 해안까지 30% 이하의 저염수가 나타났다. 더욱이 평년 표층 염분 중 가장 낮은 값은 28.4‰로, 예년에는 거의 관측되지 않은 25% 이하의 저염수가 관측되었다. 표층 염분분포를 보면(Fig. 4), 여름철 염분의 강한 성층이 형성되었고 이것은 수온의 성층과 함께 안정된 구조를 이루어 해수의 수직적인 혼합을 방해하고 그 구조가 오랜 기간 지속될 수 있게 한다.

제주도 해안을 따라 나타나는 염분분포는 저염수의 일부가 패치의 형태로 약 7일에 거쳐 제주도를 서쪽에서 동쪽으로 지나갔음을 보여준다(Fig. 5). 이것은 앞으로 제시할 저염수의 이동속도와 비슷하다. 즉 제주도의 동서 방향 길이가 약 80km이므로 저염수의 이동속도를 10~15cm/s라면 제주도를 지나가는 데 약 6~9일이 걸린다.

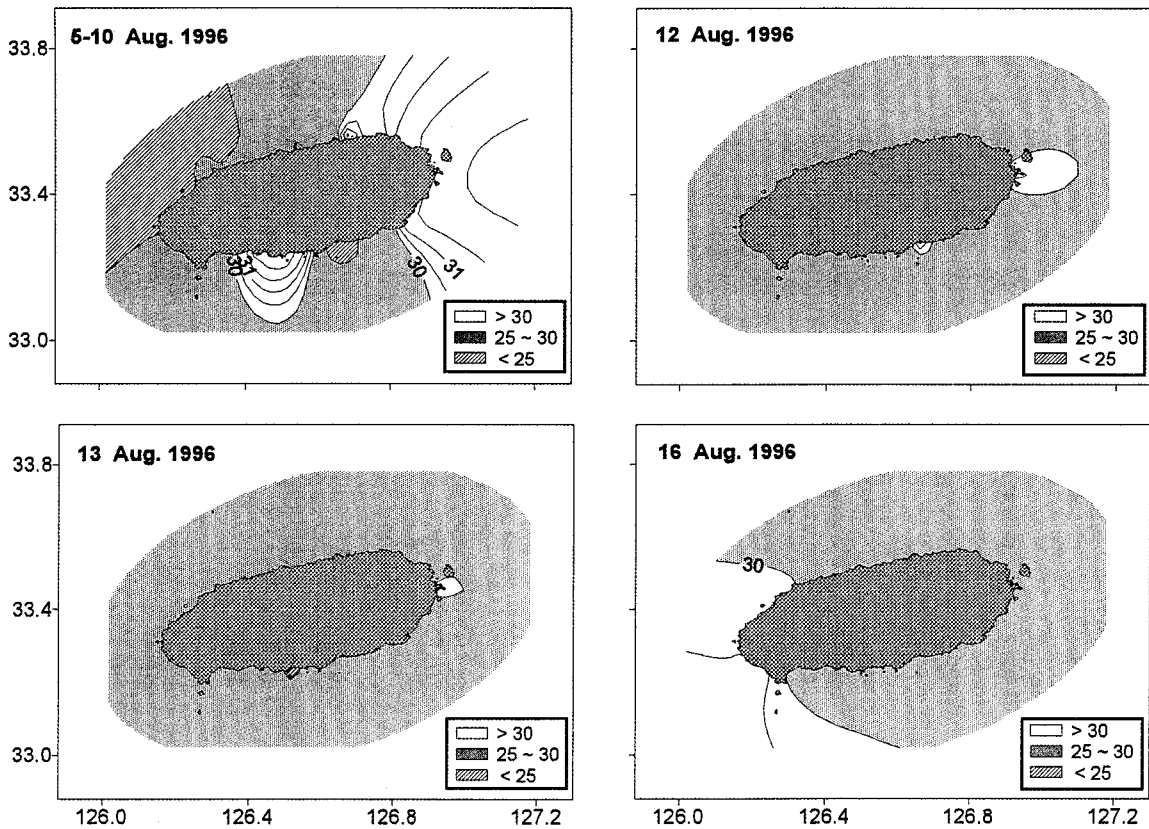


Fig. 5. Temporal and spatial fluctuation of salinity (%) around Cheju Island during a period of August 5 ~ 16, 1996.

제주도 서쪽해역에 나타난 저염수는 Beardsely *et al.* (1992)의 부이 경로에서도 볼 수 있듯이 제주해협을 거쳐 동해로 유입된다. 동해로 유입되는 저염수는 고염의 대마난류수에 의해 염분이 다소 높아져, 대마난류 표층수의 일부분을 구성할 것으로 생각된다.

3. 여름철 저염화의 원인

1996년 8월에 나타난 제주도 해안과 주변해역 저염화의 원인은 무엇일까? 여름철 표층 염분의 분포자료를 가지고, 김(1986)과 김 등(1991)은 여름철 제주해협의 표층에 출현하는 저염수는 중국대륙연안에서 기원하여 제주해협을 거쳐 남해로 흐를 가능성을 제시했다. 그러나 지금까지 여름철 제주도 주변의 저염화에 대한 정량적인 연구는 거의 없었다.

해수의 저염화는 궁극적으로 빗물이나 강물과 같은 담수의 유입이 있어야만 가능하다. 제주도 주변 해역에서 여름철 저염화를 일으키기 위한 담수량(V_f)을 계산하면 다음 식과 같다(Knauss 1997).

$$V_f = V_e \frac{(S_0 - S_e)}{S_0}$$

V_e 는 대상해역의 전체 부피, S_0 는 기존해수의 평균 염분, S_e 는 여름철 평균 염분을 가리킨다. 이때 주위해역과의 해수 교환은 고려하지 않는다.

6월에는 전혀 발견되지 않았던 염분 30% 이하 저염수의 부피를 8월 염분의 수평단면도(Fig. 2)와 수직단면도(Fig. 3)에서 구해보자. 표면적은 약 32,500 km²이고 두께는 약 10m로 전체 부피는 약 325 km³이다. 이 해역의 10m까지 평균 염분은 6월에 33.298%이고 8월에 28.370%으로 약 4.928%가 낮아졌다. 위 식을 이용하여 구한 저염화에 필요한 담수량은 총 48 km³이고, 단위 표면적당 담수량으로 환산하면 1480 mm이다. 물론 저염수의 범위를 31%로 넓히면 대상 해수의 부피가 늘어나 저염화에 필요한 담수량은 더 증가한다.

즉, 6월에서 8월 사이에 전 해역에서 평균적으로 1480 mm의 비가 내리면 이와 같은 저염화 현상을 설명할 수 있다. 염분의 관측이 매달 초에 이루어지므로 6월과 7월 중 제주도의 강수량과 증발량이 6월초부터 8월초의 염분에 영향을 줄 수 있다. 제주도에서 관측된 1996년 6월과 7월의 강수량은 각각 224 mm와 49 mm이었고, 같은 기간 증발량은 각각 113 mm와 158 mm이었다(기상청

1996a, b). 따라서 6월과 7월의 강수량을 합해도 273 mm에 불과하여, 저염화에 필요한 담수량의 20%도 되지 않는다. 더욱이 같은 기간에 증발량은 271 mm로 증발량을 제외한 강수량이 2 mm에 불과해서 제주도의 기상상태로 제주도 해안과 주변해역의 저염화 현상을 설명할 수 없다.

제주도 부근 해역에서 가장 가까운 강은 영산강이다. 이 강의 배수유역(drainage area)은 전라남도의 일부 지역으로, 그 크기는 저염화 대상 해역의 10% 이하이다. 그러므로 영산강의 배수량은 저염화 해역에 직접 영향을 미쳤다고 볼 수 없다. 강수량에 의한 저염화를 계산한 결과 여름철 남해 전 층 해수의 저염화는 강수량, 육수의 유입 등 지역적인 원인으로 설명될 수 없음이 분명하고, 주변 해역으로부터 저염수가 남해로 흘러 들어온 결과일 수밖에 없다.

주변 해역의 염분에 가장 큰 영향을 미치는 것은 양자강의 배출수이다. 양자강의 월별 배출량은 7월에 가장 많아 예년 평균 약 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다. 6월과 8월은 약 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 이고, 겨울에는 약 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다(Shen *et al.* 1998). 여름철 제주도 주변 저염화에 필요한 담수의 양 48 km^3 은 양자강의 6월과 7월의 배출량 237 km^3 의 약 20%에 해당되는 양이다. 더욱이 1996년 여름은 양자강 주변 지역에 예년보다 많은 강수량으로 인해 많은 피해가 있었던 시기여서 양자강의 배출량이 예년보다 많았던 것으로 생각된다.

제주도 주변 해역의 저염화에 필요한 담수의 기원으로 양적으로는 일단 양자강의 배출수가 유일하다. 그렇다면 제주도에서 약 393 km 떨어진 양자강으로부터 제주도 주변까지 담수가 어떤 경로를 통해 어느 정도의 시간이 소요될까?

제주도 주변에 관한 해류연구는 해수의 특성분석을 통한 간접적인 방법과 해류계나 인공위성 추적 부이를 이용한 직접 관측에 의해 실시되었다. 해수의 특성분석을 통한 연구결과로 제주도를 우회한 고온고염의 해수가 황해로 유입되지 않고 제주해협을 통과하여 동쪽으로 향한다고 알려졌다(노와 김 1983; Lie 1986; 김 등 1991). 조와 김(1994)은 여름철 남해의 저온수가 제주해협의 북부를 거쳐 남해로 유입된다고 보고했다. 이러한 연구결과를 종합하면 제주해협 부근 모든 해역에서 해수가 북동 방향인 남해 쪽으로 흐르고 있는 것을 알 수 있다.

해류에 관한 직접관측은 주로 제주해협에서 이루어졌다. 지금까지 제주해협에서 직접 해류관측은 해협의 남부에서 주로 실시되었다. 제주해협 내 남북방향으로 세 정점에서 1974년 8월에 25시간 해류관측을 실시한 김

(1979)은, 북동쪽으로 $3.5 \sim 13.7 \text{ cm/s}$ 크기의 해류를 보고했다. Chang *et al.*(1995)은 1983년 4월 12일부터 5월 12일까지 20일간 해협 내 30 m 수심과 60 m 수심에서 해류를 관측하여 북동쪽으로 각각 12.5 cm/s 와 9.2 cm/s 라고 보고했다. 조 등(1995)이 염보존 box모델을 이용하여 구한 제주해협의 평균 유속은 직접 관측한 유속과 비슷한 $10 \sim 13 \text{ cm/s}$ 이다.

지금까지 언급한 해류는 대부분 제주해협을 포함한 제주도 부근의 해류에 관한 연구인 반면, 황해와 동중국해의 해수순환을 연구하기 위해 1986년 여름철 인공위성 추적 부이를 표층 10 m에 띄워 실시한 실험의 결과는, 여름철 양자강수 흐름의 경로와 속도보다 서쪽 해역의 해류구조를 제시해준다(Beardsely *et al.* 1992). 양자강에서 약 100 km 떨어진 곳에 7월에 투하된 부이가 북동쪽으로 14 cm/s 속도로 움직여 제주도 서쪽 해역에 약 한 달 후에 도착했다[Beardsely *et al.*(1992)의 Fig. 4의 drifter 6986]. 양자강 앞에서 제주도 서쪽해역까지의 이동한 부이의 방향과 크기가 제주도 주변 해류의 평균값과 비슷하다.

해류의 속도와 방향은 시간과 공간에 따라 크게 변하지만, 여러 가지 방법으로 구한 제주도 주변해역의 여름철 평균 유속은 북동쪽으로 약 $10 \sim 15 \text{ cm/s}$ 이다. 양자강에서 배출된 저염수의 이동속도를 $10 \sim 15 \text{ cm/s}$ 라고 가정하면, 양자강에서 유출된 저염수가 약 393 km 떨어진 제주도 주변 해역까지 도달하는데 $30 \sim 45$ 일이 소요될 것으로 추정된다.

사 사

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구조성비에 의하여 일부 지원되었음.

참 고 문 헌

- 강철중(1974) 한국 남해안 연안수의 계절변동에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고 12: 107-121.
- 강태연, 최영찬, 고유봉(1996) 제주도 주변 용승역의 생물생태학적 기초연구(I) 제주도 남서부 연안해역의 해수화학적 특성과 용승현상. 한국수산학회지 29: 603-613.
- 공 영(1971) 한국 남해안 전선에 관한 연구. 한국해양학회지 6: 25-36.
- 국립수산진흥원(1986) 한국 근해 평년 해황도. 부산.
- 국립수산진흥원(1997) 해양조사연보(1996년). 부산.
- 기상청(1996a) 기상월보(1996년 6월). 서울.
- 기상청(1996b) 기상월보(1996년 7월). 서울.
- 김 구, 노홍길, 이상호(1991) 하계 제주도 주변 해역의 수계

- 및 해수순환. 한국해양학회지 **26** : 262-277.
- 김복기 (1979) 제주해협내 해류에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고 **25** : 7-16.
- 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암(1998) 1996년 여름철 남해 표층수의 이상저염수 현상과 영양염류의 분포특성. 바다 **3** : 165-169.
- 김인옥(1986) 제주도주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 제주대학교 석사학위논문.
- 김학균, 이삼근, 안경호, 윤성화, 이필용, 이창규, 조은섭, 김정배, 최희구, 김평중(1997) 한국 연안의 적조 - 최근 적조의 발생원인과 대책. 국립수산진흥원.
- 노홍길, 김 구(1983) 제주와 목포, 제주와 완도간의 표면수온 변화. 한국해양학회지 **18** : 64-72.
- 원승환, 한석중(1998) 전복, 소라, 오분자기 치패의 생존에 미치는 고수온, 저염분수의 영향. 한국양식학회지 투고중.
- 유성규(1995) 천해양식. 신흥출판사. 부산.
- 조양기, 김 구(1994) 여름철 남해 저온수의 특성과 기원. 한국해양학회지 **29** : 414-421.
- 조양기, 김 구, 노홍길(1995) 여름철 남해의 저염화와 수송량. 한국해양학회지 **7** : 126-134.
- Beardsely RC, R Limeburner, K Kim & J Candela (1992) Lagrangian flow observations in the East China, Yellow and Japan Seas. *La mer* **30** : 297-314.
- Boesch DF & R Rosenberg (1981) Responses to stress in marine benthic communities. pp. 179-200. *In Stress Effect on Natural Ecosystems* (Barett GW & R Rosenberg eds), John Wiley & Sons, N.Y.
- Chang KI, K Kim, SW Lee & TB Shim (1995) Hydrography and sub-tidal current in the Cheju Strait in spring, 1983. *J. Oceanol. Soc. Korea* **30** : 203-215.
- Degobbi D (1989) Increased eutrophication of the northern Adriatic Sea: second act. *Mar. Pollut. Bull.* **20** : 452-457.
- Hartley JP (1982) Methods for monitoring offshore macrobenthos. *Mar. Pollut. Bull.* **13** : 150-154.
- Ho JS & GX Zheng (1994) *Ostrincola koe* (Copepoda, Myicolidae) and mass mortality of cultured hard clam (*Meretrix meretrix*) in China. *Hydrobiologia* **284** : 169-173.
- Knauss JA (1997) Introduction to Physical Oceanography, 2nd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Lie HJ (1986) Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. *Prog. Oceanog.* **17** : 229-242.
- Shen H, C Zhang, C Xiao & J Zhu (1998) Change of the discharge and sediment flux to estuary in Changjiang River. pp. 109-127. *In Health of the Yellow Sea* (Hong GH, J Zhang & BK Park eds), The Earth Love Publication Association, Seoul.
- Sinderman CJ & RL Swanson (1979) Historical and regional perspective. pp. 1-16. *In Oxygen Depletion and Associated Benthic Mortalities in New York Bight, 1976* (Swanson RL & CJ Sinderman eds) U.S. Department of Commerce NOAA Professional Paper No. 11.
- Yang DB & JS Hong (1988) On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September 1983. *Bull. Korean Fish. Soc.* **21** : 195-205.

The 1996 Mass Mortality of Macrobenthic Animals in Cheju Island: A Possible Role of Physical Oceanographic Factor

Hae-Lip Suh, Yang Ki Cho, Ho Young Soh and Dae-Hwan Kim¹

(Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Institute of Marine Science,
Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

¹Fisheries Extension Service Division, Cheju Regional Maritime Affairs and Fisheries
Office, Cheju 690-050, Korea)

Abstract – An unprecedented mass mortality of commercially important macrobenthic animals, including *Haliotis discus discus*, *H. diversicolor*, *Batillus cornutus*, *Sticopus japonicus* and *Hemicentrotus pulcherrimus*, occurred off the west coast of Cheju Island in summer of 1996. Phytoplankton blooms were absent along the coast. The appearances of the surface low-salinity water (SLSW) off the coast of Cheju Island preceded the mass mortality, leading to speculation that the low-salinity stress may have a crucial role in the mass mortality. Since there was no heavy rain for the same period, the precipitation was not a possible explanation for the decrease of salinity. Physical oceanographic data taken by NFRDI (1997) clearly indicated that the SLSW was present in the area between China and Cheju Island in August 1996. This is most likely due to a freshwater supply resulting from the existence of large river runoff. Evidence of the current and the distance between the Yangtz River and Cheju Island also supports the hypothesis that source of the SLSW was the freshwater originated from the Yangtz River runoff. [macrobenthic animals, mass mortality, surface low-salinity water].