

제주도 주변해역의 여름철 이상저염수에 관한 연구

현 경 훈 · 방 익 찬
제주대학교 해양학과

Abnormally low salinity waters around Cheju Island in summer

Kyung-Hoon Hyun · Ig-Chan Pang

Department of Oceanography, Cheju National University, Cheju-do 690-756

Abnormally low salinity waters around Cheju Island in summer seem to be mainly due to increasing fresh water run-offs from the Yangtze River resulting from heavy precipitation in China but not due to precipitation around the region of Cheju Island directly. Judging from that abnormally low salinity waters appeared in summer 1996 and 1998 when no typhoons passed by the adjacent seas of Cheju Island, typhoons seem to play a role in preventing surface salinity lowering. There can be two possible explanations on the fact that low salinity waters around Cheju Island does not link with those in the mouth of Yangtze River. First, fresh water runoffs from Yangtze River vary with time and so that low salinity waters around Cheju Island can be separated in salinity. Second, Yangtze Coastal Waters in the river mouth goes eastward first to the center of the East China Sea where it goes northward to Cheju Island by the round route.

Key words : abnormally low salinity waters, fresh water, Yangtze River, typhoon

서 론

여름철 제주도 주변해역에는 쿠로시오에서 기원하는 난류수, 육지로부터 공급되는 연안수, 황해저층냉수 등 여러 수괴가 분포하여 복잡한 해황을 나타낸다(Pang et al., 1996; Pang and Hyun, 1998). 이들 수괴 중에서 저염수의 대부분은 양쯔강 하구에서 유출되는 담수에서 기원하는 것으로 알려져 있는데 1996, 1998년에는 평년보다 염분이 훨씬 낮은 이상저염수가 출현하여 제주도 수산업에 큰 피해를 주었다. 이러한 이상저염수에 대한 원인을 찾고 예보할 수 있는 시스템을 만드는 것은 제주도 수산업의 피해를 예방하는 데에 중요하다. 이상저

염수의 원인은 양쯔강 연안수의 유입이나 난류수의 분포와 같은 해양학적인 요인과 제주도와 중국대륙의 강수량이나 태풍 등 기상학적인 요인이 복합적으로 영향을 미친 결과일 것이기 때문에 어느 한 쪽의 요인에 대한 분석만으로는 정확한 해석을 내리기 어렵다. 만약 그 원인이 전지구적인 이상기후현상과 관련이 있다면 더욱 그렇다. 그러나 이 모두를 한꺼번에 분석하는 것은 쉬운 일이 아니다. 이 논문에서는 우선 연구지역을 제주도 주변해역과 양쯔강 연안수의 이동경로라고 생각되는 제주도-양쯔강 하구 사이의 동중국해에 한정시키고 현재까지 관측된 해양자료와 강수량, 태풍 등 기상자료에 대한 분석을 통해 제주도 주변해역의 이상저염수의 출현과 해양·기상현상과의 관계를 분석해 보았다.

여름철의 이상저염수

Fig. 1은 1994년에서 1997년까지 국립수산진흥원에서 관측한 제주도 주변해역의 여름철 표층 염분을 나타낸 것이다. 그림을 보면 1994년, 1995년, 1997년에 표층염분은 대략 28-32%의 분포를 보이고 있는 반면, 1996년에는 20%까지 낮아지는 이상저염현상을 보이고 있다. 특히 제주도 서부해역 전체가 26%이하를 나타내어 다른 해보다 무려 5-10% 낮게 나타나고 있는데, 이 이상저염수로 인하여 제주도 연안 공동어장과 양식장에 서식하는 어패류를 폐사시키는 큰 피해를 준 바 있다. Fig. 1에 보이는 것처럼 제주도 주변해역의 표층에는 평

년에는 28-32%, 이상저염수가 발생한 1996년에는 20-30%의 저염수가 분포한다. 이들 저염수의 일차적인 기원은 남해 연안수와 양쯔강 연안수로 추정해 볼 수 있지만 한국 남해 연안에는 제주도 주변해역보다 오히려 염분이 조금 높은 해수가 분포하고 있어 이상저염수가 남해 연안수에서 기원하는 것으로 보기는 어렵다. 따라서 김과 노(1994)는 제주도 주변해역의 저염수의 기원을 양쯔강 연안수로 보았으며 그 지표염분을 32.2%이하로 설정하였다. 그리고 이 양쯔강 연안수는 주로 제주도 서부해역을 지나 제주해협을 통과하여 대한해협 쪽으로 빠져나간다고 하였다.

특이한 것은 Fig. 1의 1996년 염분분포를 보면 제

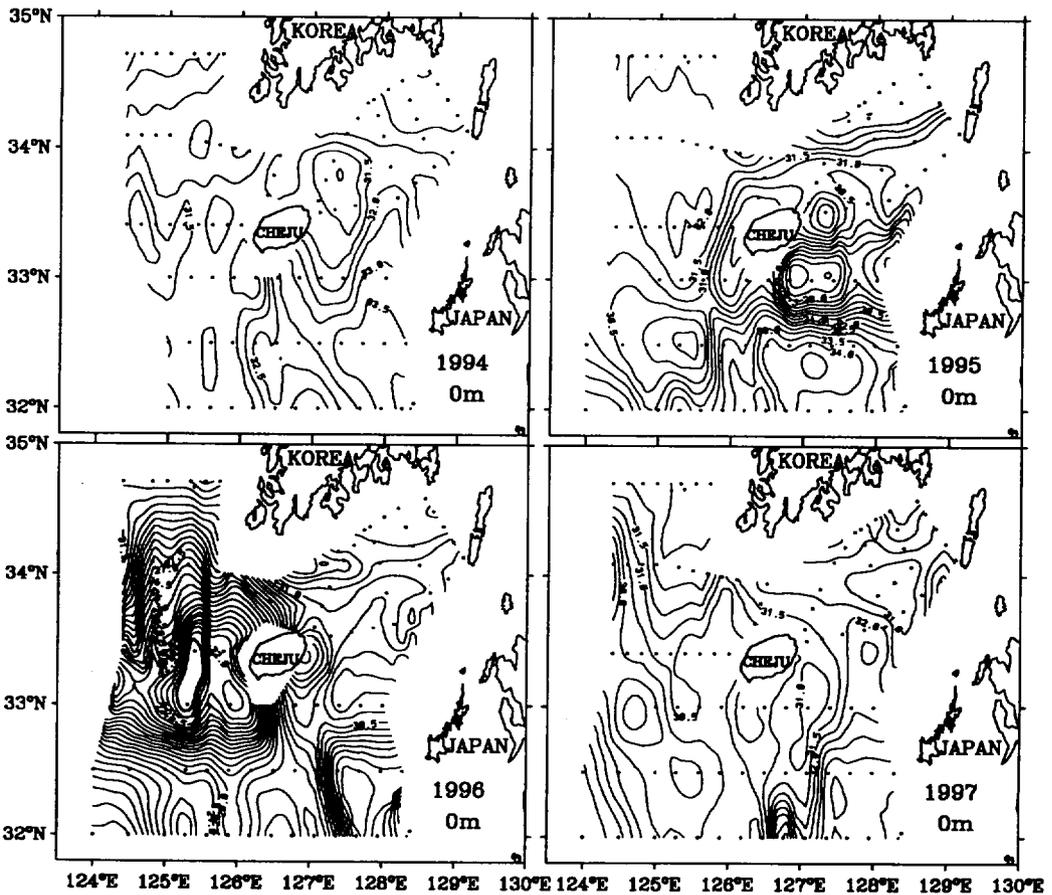


Fig. 1. Horizontal distribution of surface salinity(%) in the adjacent seas around Cheju Island in August in 1994, 1995, 1996, 1997 (Data from Korean Ocean Data Center (KODC)).

주도 서부해역의 26%이하의 저염수가 양쯔강 하구의 저염수와 연결되지 않고 북위 32° 근방의 30% 이상의 고염수에 의해 차단되어 있다는 것이다. 이처럼 제주도 서부 해역의 저염수와 양쯔강 하구 저염수가 서로 연결되지 않고 분리되어 분포하는 현상은 양쯔강 연안수의 이동경로와 이동형태가 단순하지 않다는 것을 의미한다.

여름철 제주도 주변해역의 표층에는 주로 저염의 연안수가 분포하는 반면 저층에는 비교적 고염의 난류수가 분포하고 있다. Fig. 2는 50 m 층의 염분 분포를 나타낸 것인데 제주도 주변 전역에 걸쳐 33.5-34%의 고염수가 분포하고 있음을 볼 수 있다. 특히 1996년에는 제주도 서부해역에 34%이상의 고

염수가 넓게 분포하고 있어 이상저염수가 출현하였던 표층과 뚜렷한 대조를 보이고 있다. 34-34.5%의 고염수는 제주도 동부와 일본 큐슈서쪽해역에도 넓게 분포하고 있어 고염수의 근원은 쿠로시오에서 오는 것임을 알 수 있다.

1998년에도 여름철 저염분수의 출현이 예상되어 어장피해를 감소시키기 위해 제주도와 국립수산물진흥원 남해수산연구소 제주분소에서 제주도 서부해역과 남부해역의 염분을 관측하였다. Fig. 3은 그 관측결과를 나타낸 것인데 1998년 7월부터 9월초까지 5-10일 간격으로 관측한 제주도 서부해역과 남부해역의 염분분포를 나타낸 것이다. 제주도 남서해역의 표층 염분은 7월에 28-32.8%, 8월에 28.6-

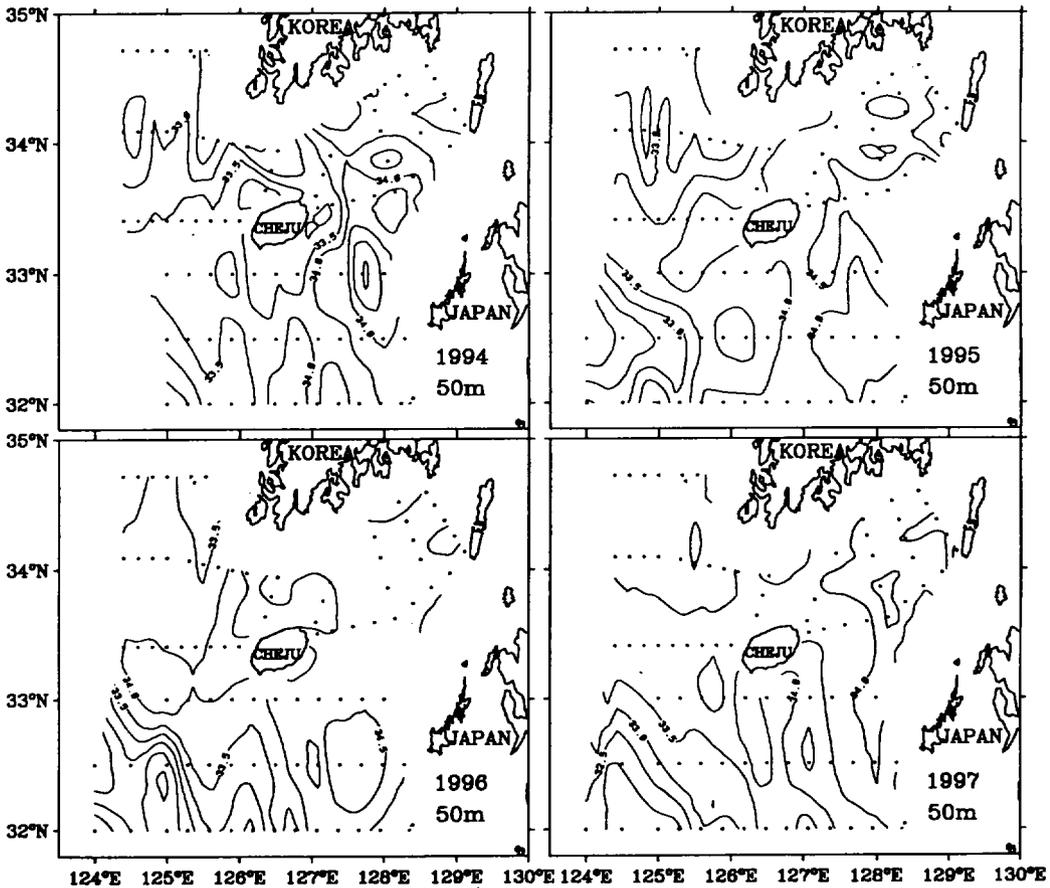


Fig. 2. Horizontal distribution of surface salinity(‰) in the depth of 50m in the adjacent seas around Cheju Island in August in 1994, 1995, 1996, 1997 (Data from Korean Ocean Data Center (KODC)).

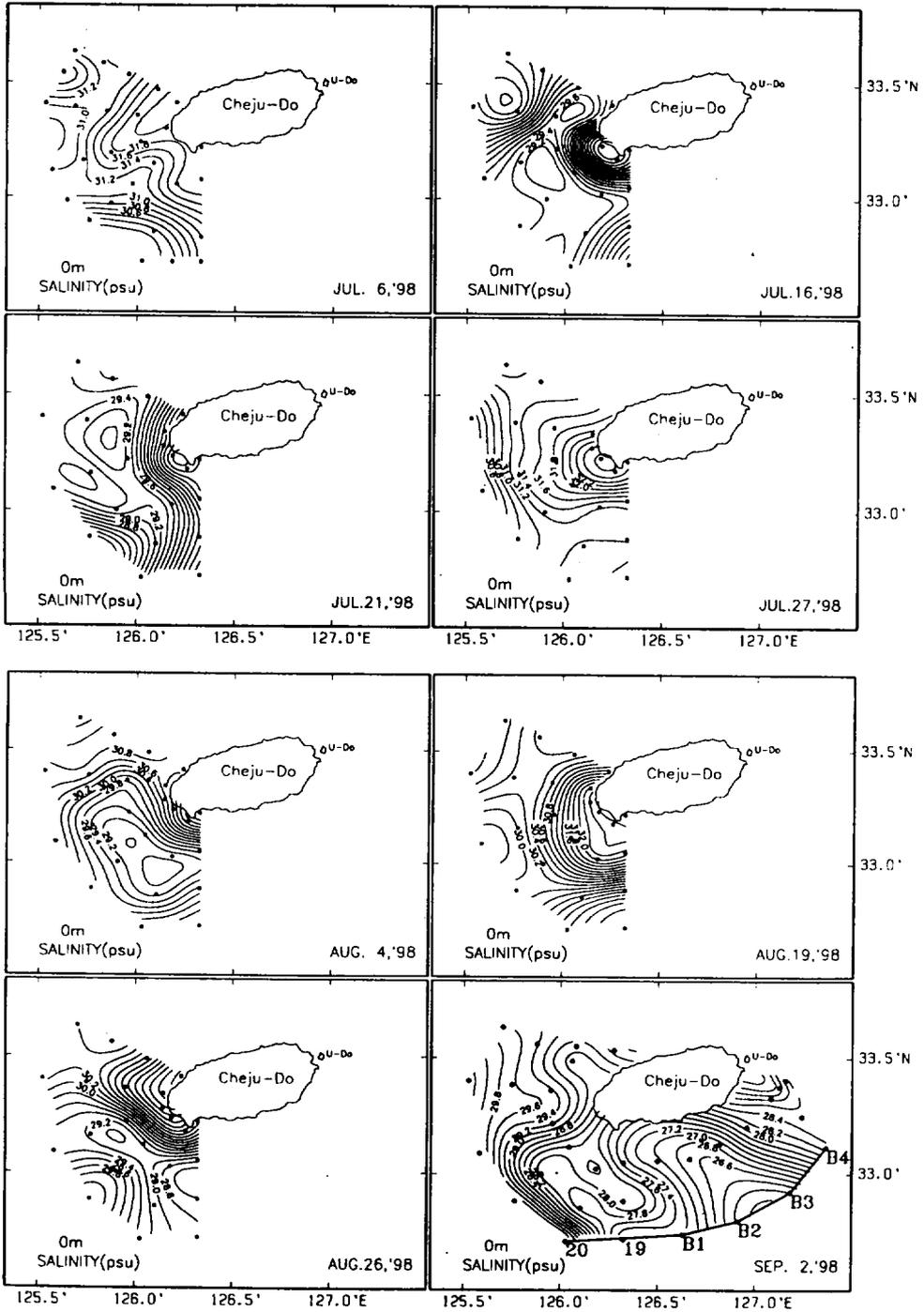


Fig. 3. Surface salinity distribution in the western and southern seas of Cheju Island from July to early September in 1998, observed by Cheju Laboratory of South Sea Fisheries Research Institutes (SFRI) of National Fisheries Research and Development Institutes (NFRDI).

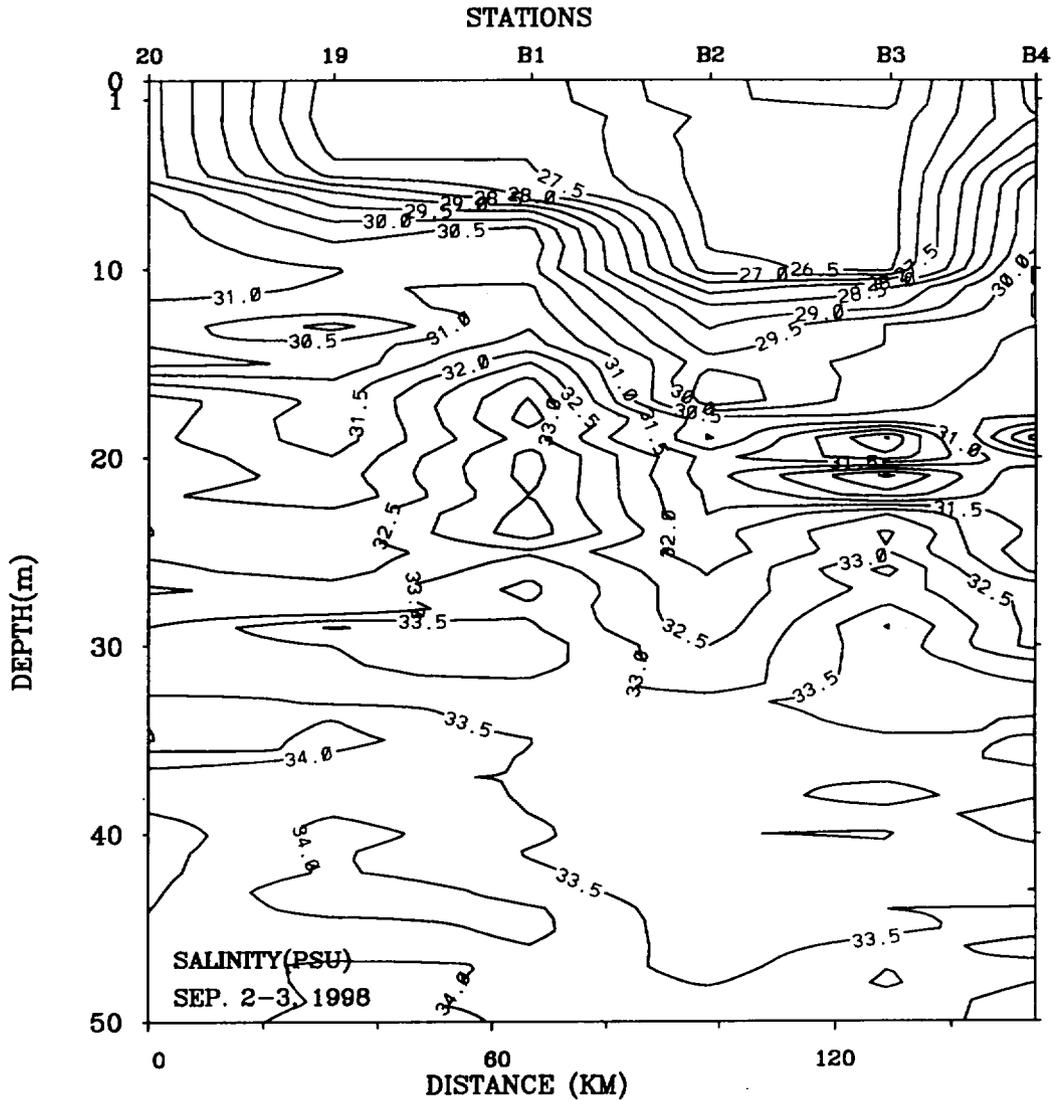


Fig. 4. Vertical salinity distribution in the south-eastern sea of Cheju Island from July to early September in 1998, observed by Cheju Laboratory of SFRI of NFDRI.

32.8%의 염분을 나타내다가 9월초에 제주도 남동부를 포함하여 26.2-30%로 낮아지고 있다. 이는 평년보다는 2-3% 낮은 수치이나 1996년에 서부해역 전역에 26%이하가 나타났던 것처럼 매우 낮은 염분분포는 아닌 것으로 보인다(Hyun et al., 1997). Fig. 4는 표층염분이 26%로 낮았던 제주도 남동부해역(Fig. 3 하단 참조)의 염분 수직분포를 나타낸 것이

다. 이 그림에서도 10m 이천의 표층염분이 26%로 낮았지만 50m 이심의 저층은 34%이상으로 높음을 알 수 있다. 또한 32%이하의 저염수는 20m 이천에 분포하며 29%이하의 낮은 저염수는 10m 이천의 표층에만 분포하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것으로 볼 때 저층 염분이 높은 것은 표층에 이상저염수가 출현하는 것과 어떤 관련이 있는 것으로 보인다.

이상저염수와 기상과의 관계

제주도 주변해역에 나타나는 이상저염수의 염분을 결정하는 데에는 지역 강수량과 양쯔강 하구의 담수 유출량이 영향을 미칠 것이다. 그리고 양쯔강 하구의 담수 유출량은 중국 내륙의 강수량에 크게 영향을 받기 때문에 제주도 주변해역과 양쯔강 유역의 강수량과 이상저염수 현상에 대해 살펴보았다. 또한 태풍이 제주도로 오지 않았기 때문에 이상저염현상이 발생했다는 어부들의 전언을 확인해 보기 위해 태풍과 이상저염수의 관계도 살펴보았다.

제주도 주변해역의 강수량과 이상저염수

Fig. 5는 1990년-1998년 제주도의 월 강수량을 나타낸 것이다. 이상저염수가 출현하였던 1996년의 강수량은 평년과 비슷하거나 오히려 약간 적었던 것으로 나타났다. 특히 1998년에는 제주도의 8월 강수량이 75mm로 매우 적어 가뭄이 심하였으나 9월초에 26-30%의 저염수가 제주도 남동해역에 출현하였다. 이것은 제주도의 여름철 강수량이 많지 않더라도 평년보다 염분이 낮은 저염수가 출현할 수 있다는 것을 나타내는 것이며, 제주도의 지역 강수량

에 의해 이상저염수가 발생하는 것은 아니라는 것을 의미한다.

양쯔강 주변 내륙지역의 강수량과 이상저염수

Fig. 6은 양쯔강 주변 내륙지역 다섯 지점의 기상관측소를 선정하여 그 지역의 6, 7, 8월의 월 강수량을 그래프로 나타낸 것이다. 자료는 1995년-1997년까지의 기상청 기상전문자료를 참조한 것이다. 이상저염수가 나타났던 1996년 7월에 다른 해보다 양쯔강유역에 상당히 많은 강수가 내렸음을 알 수 있다. 이것은 제주도 주변해역의 이상저염수가 양쯔강 주변 지역의 강수량에 보다 관련이 있다는 것을 보여준다.

태풍과 이상저염수

태풍은 여름철에 발생하는 강한 열대성 저기압으로 많은 강우와 강한 바람을 동반하여 바다에 커다란 영향을 주는 기상현상이다. 최근 들어 이상기후현상(엘니뇨 포함) 때문에 우리 나라에 영향을 주는 태풍이 많이 줄어들었는데 1996년에는 태풍이 우리 나라를 통과하지 않았고 1998년에는 이상저염이 사라진 10월에 가서야 태풍이 통과하였다. 이처

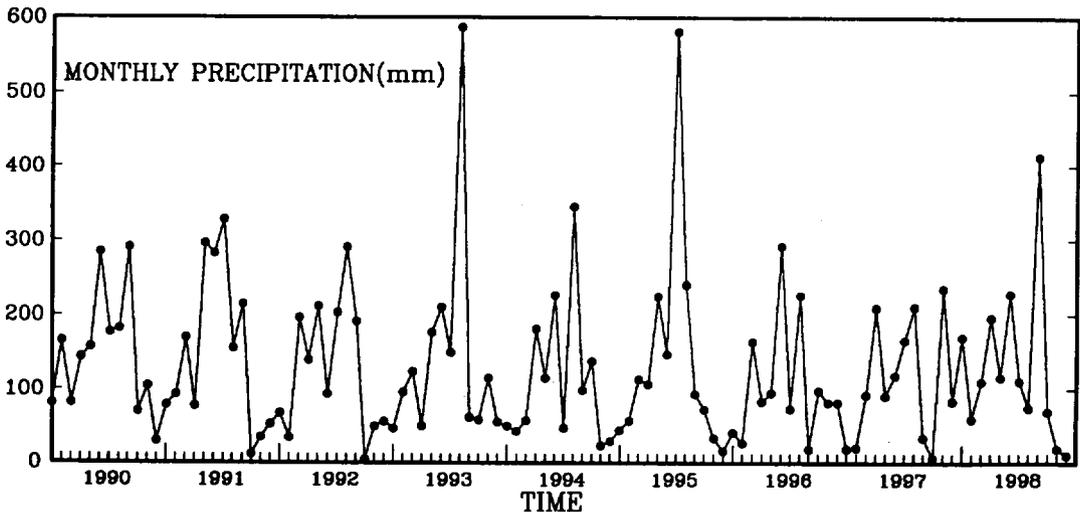


Fig. 5. Averaged monthly precipitation (mm) in Cheju Island from 1990 to 1998. (from Korean Meteorological Agency)

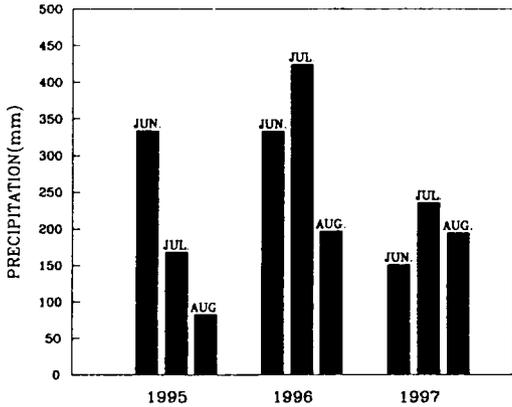


Fig. 6. Monthly precipitation averaged with five weather stations located near Yangtze River in China from 1995 to 1997 (from Korean Meteorological Agency).

럼 태풍이 여름철에 제주도로 오지 않았기 때문에 이상저염수의 피해가 발생하였다는 어부들의 말은 태풍이 이상저염수의 발생을 방해하는 요인이 될 수 있다는 것을 의미한다. 이 논문에서는 태풍과 이상저염수의 관계를 확인하기 위하여 이상저염수가 나타나는 해역에 영향을 미친 태풍과 이상저염수가 나타난 해를 비교해 보았다.

Table 1은 1990년 이후 우리 나라에 영향을 준 태풍의 수를 연별로 나타낸 것이다(기상청, 1996). 이 표를 보면 제주도 주변해역에 이상저염수가 발생한 1996년, 1998년에는 태풍이 우리 나라 주변해

Table 1. Number of typhoons which have influenced Cheju Island from 1990 to 1998 (기상청, 1996).

Year	Summer (Jun.-Aug.)	Fall (Sep.-Nov.)	Total
1990	3	1	4
1991	2	2	4
1992	1	1	2
1993	4	0	4
1994	4	1	5
1995	2	1	3
1996	0	0	0
1997	3	1	4
1998	0	2	2

역에 영향을 주지 않았거나 9월 이후에 영향을 주어 결과적으로 저염수가 강하게 나타나는 여름철에는 태풍이 영향을 미치지 않은 해였다. 이것은 비교자료는 많지 않으나 태풍과 저염수 출현과는 관계가 있을 가능성을 시사한다. 태풍은 저염의 표층수와 고염의 저층수를 수직혼합 시키기 때문에 표층염분이 상대적으로 높아지며, 따라서 태풍이 지날 때에는 이상저염수가 출현할 가능성이 낮고 태풍이 오지 않을 때에 이상저염수가 출현할 가능성이 높기 때문인 것이다. 태풍이 많은 강수를 동반한다는 사실을 감안할 때, 여름철에 태풍이 오지 않아서 제주도 강수량이 상대적으로 적었던 해에 이상저염수가 출현하였던 것은 앞 절의 강수량 결과와도 관련이 있어 보인다.

양쯔강 연안수의 이동

제주도 주변해역에 출현하는 이상저염수의 근원은 중국내륙지역의 강수로부터 비롯되는 양쯔강 하구의 담수 유출수로 볼 수 있는데, 이 양쯔강 유출수는 어떠한 형태로든지 동중국해를 북동쪽으로 북상하여 제주도 주변해역에 이르며 양쯔강에서 유출되는 담수의 양이 많아질 때 제주도 주변해역에서 이상저염수가 출현하는 것으로 보인다. 양쯔강 하구와 제주도 사이의 해역에는 어떤 수괴가 분포하

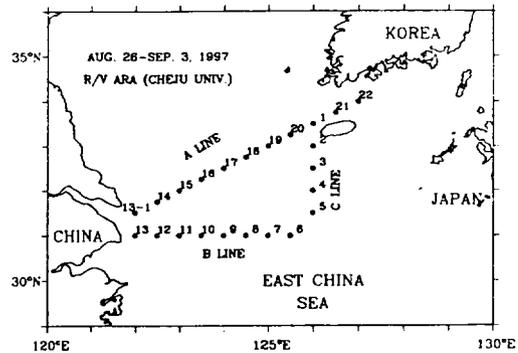


Fig. 7. Hydrographic stations between Cheju Island and Yangtze River Mouth observed R/V Ara of Cheju National University during the period of 26 August to 3 September 1997.

며 양쯔강에서 유출된 저염수는 어떠한 형태로 이동하는지 살펴보기 위해 해양관측을 실시하였는데, Fig. 7은 1997년 8월 26일-9월 4일 사이에 제주대학교 실습선 아라호를 이용하여 이 해역을 관측한 관측점을 나타낸 것이다.

Fig. 8은 A, B, C 선의 염분을 수직단면도로 나타낸 것이다. A선에서 제주도 서쪽에 위치한 관측점 1 부근해역의 표층에는 30%이하의 저염수가 분포하는데 제주도와 양쯔강사이의 중간해역인 관측점 18 부근에서는 31.6-32%로 약간 고염인 해수

가 분포하고 있다. 또한 양쯔강 하구에 위치한 관측점 15, 16 부근에서는 25%이하의 매우 낮은 염분을 갖는 해수가 표층에 분포하고 있는데 비해 관측점 14에서는 30.5-32%의 높은 염분을 나타내며 양쯔강 입구에 해당하는 관측점 13-1과 13에서는 다시 13%까지 매우 낮은 염분이 분포한다. 이와같이 염분분포는 제주도 주변해역의 저염수와 양쯔강 하구의 저염수가 연결되지 않는다.

이처럼 제주도 주변해역의 저염수와 양쯔강 하구의 저염수가 서로 분리되어 분포하는 원인은 다음

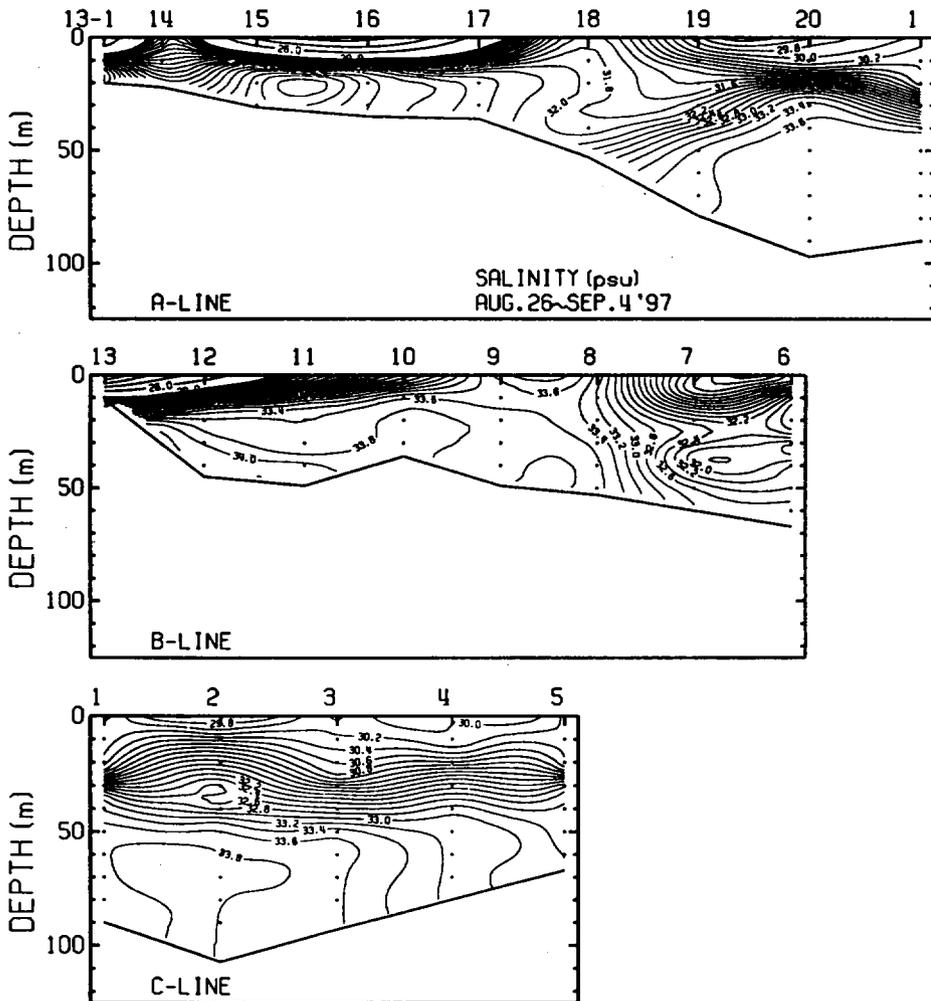


Fig. 8. Vertical distribution of salinity of A, B, C lines shown in Fig. 7 between Cheju Island and Yangtze River Mouth in summer 1997.

과 같이 두 가지로 추측해 볼 수 있다. 첫째 해석은 양쯔강 하구에서 유출되는 담수의 양이 시간에 따라 다르며 유출량이 많고 적음에 의해 제주도 서부해역의 저염수와 양쯔강 하구의 저염수 사이가 분리될 수 있다는 것이다. 이렇게 분리된 저염수들은 제주도 주변해역에서 저염핵을 중심으로 뭉쳐 있는 독립적인 와류의 형태를 보여준다 (Fig. 1 (1995년)). 둘째 해석은 양쯔강 연안수가 제주도를 향해 직접 북상하지 않고 동중국해의 증앙을 향해 동쪽으로 이동하다가 다시 제주도로 북상하는 경로로 이동하여 제주도 주변해역과 양쯔강 하구 사이에서 저염수가 분리된다는 것이다(Pang and Hyun, 1998). 즉, 양쯔강 하구에서 유출된 담수는 관성에 의해 동중국해 증앙으로 이동하다가 대마 난류계 시스템을 만나 다시 북상하여 제주도로 이르게 된다는 것이다. 이처럼 저염수가 서로 분리되어 분포하는 현상은 양쯔강 연안수의 이동과 관련하여 제주도 주변해역의 이상저염수 출현을 연구하는 데 중요한 과제이다.

결론 및 토의

1996년 여름철 제주도 주변해역에서는 22%, 1998년에는 26%까지 낮은 염분이 출현하였는데 이는 평년 최저염분인 28-29%보다 무려 2-7% 낮은 이상 저염분이다. 특히 1996년에는 제주도 서부 전해역이 26%이하로 분포하여 어폐류가 폐사하는 등 제주도 수산업에 많은 피해를 주었다. 이상저염수의 출현과 강수량(제주도 주변지역의 강수량과 양쯔강 주변지역의 강수량)을 비교해 본 결과 제주도의 강수량은 이상저염수의 출현에 원인으로 작용하지는 않는 것으로 보인 반면, 중국 내륙의 집중호우에 의한 양쯔강 하구의 담수 유출량 증가가 여름철 제주도 주변 해역에 나타나는 이상저염수의 근본 원인으로 보인다. 여름철에 태풍이 우리나라로 오지 않았던 1996년과 1998년에 이상저염수가 나타났던 것은 태풍이 표층의 저염화를 억제하는 역할과 관계있을 것이다. 즉 태풍이 동중국해를 통과하면서 표층의 저염수와 저층의 고염수를 수직혼합

시킴으로서 표층의 이상 저염화를 방지하는 역할을 할 수 있다.

양쯔강 연안수의 이동은 크게 두 가지로 설명될 수 있다. 첫째는 양쯔강 하구에서 제주도로 직접 이동하지만 담수 유출량이 시간에 따라 달라짐에 따라 제주도 주변해역의 저염수와 양쯔강 하구의 저염수가 분리되어 독립된 와류형태로 분포한다는 해석이다. 둘째는 양쯔강 하구에서 유출되는 담수가 동중국해 증앙으로 이동하여 다시 제주도로 북상하는 우회경로로 이동하여 제주도와 양쯔강 사이에서 저염수가 분리된다는 것이다.

여름철 제주도 주변해역에 출현하는 이상저염수는 해양과 기상 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로 보인다. 따라서 이상저염수의 출현을 미리 예측하고 수산업에 미치는 피해를 최소화하기 위해서는 해양-기상 정보체계를 갖추고 정보들을 정확하게 분석할 필요가 있다. 특히 중국내륙의 강수량과 양쯔강 하구의 담수 유출량에 대한 자료와 정기적인 해양관측을 통해 최대한 넓은 해역의 해양자료를 획득하는 것도 매우 중요하다. 태풍을 고려한 동중국해 3차원 해수순환모델을 통해 양쯔강 연안수의 이동경로를 예측하는 것은 이상저염수 문제를 해결하는 최종적인 과제가 될 것이다.

요 약

여름철 제주도 주변해역에 출현하는 이상저염수는 제주도 주변지역의 강수량과는 근본적인 관련이 없는 반면 양쯔강 내륙지역의 강수량에 의해 양쯔강 하구의 담수량이 증가할 때 발생하는 것으로 나타났다. 또한 태풍이 여름철에 제주도 주변해역을 지나가지 않을 때 이상저염수가 발생한 것은 태풍이 표층의 저염화를 억제하는 역할과 관계가 있다. 제주도 주변해역의 저염수와 양쯔강 하구의 저염수가 염분분포에서 분리되는 것은 두 가지로 해석될 수 있다. 첫째는 양쯔강 연안수는 하구에서 제주도로 직접 이동하지만 담수 유출량이 시간에 따라 달라짐에 따라 제주도 주변해역의 저염수와 양쯔강 하구의 저염수가 분리되어 분포한다는 해석이다.

둘째는 양쯔강 하구에서 유출되는 담수가 동중국해에서 와류의 형태로 이동하여 제주도와 양쯔강 사이에서 저염수가 분리된다는 것이다. 아직 양쯔강 유출수의 이동 경로가 명확하지 않은 상태에서 이상저염수의 출현을 미리 예측하고 수산업에 미치는 피해를 최소화하기 위해서는 해양-기상 정보체계를 갖추고 정보들을 정확하게 분석할 필요가 있다.

사 사

제주도-상해간 해양관측을 위해 수고하신 제주대학교 해양조사선 아라호 선원여러분께 감사드리며 CTD 자료를 제공해 주신 제주도청 해양수산과와 삼다호 관계자 여러분께 감사 드립니다. 1998년 제주도 서부해역 CTD 자료를 제공하여 주신 국립수산진흥원 남해수산연구소 제주분소에 감사드리며, 수온염분자료중 정선관측자료(Fig. 1과 Fig. 3)는 한국해양자료센터(KODC)의 제공에 의한 것임을 밝힙니다. 기상자료를 제공해주신 기상청에도 감사드립니다.

참고문헌

김인옥, 노홍길, 1994. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 한국 수산학회지, 27:515~528.

기상청, 1996. 태풍백서, 동진문화사, 261 pp.

Hyun, K. H., I. G. Pang, J. H. Lee and H. K. Rho, 1997. Water Mass Analysis in the East China Sea in Summer and the Summer and the Northward Route of the Tsushima Current. Bull. of Marine Res. Ins., 21, 85~101

Pang, I. C., H. K. Rho, J. H. Lee and H. J. Lie, 1996. Water Mass Distribution and Seasonal Circulation Northwest of Cheju Island in 1994. J. of Kor. Fish. Soc., 29(6), 862~875

Pang, I. C. and K. H. Hyun, 1998. Seasonal Variation of Water Mass Distributions in the Eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current. J. of Kor. Soc. of Oceanography, 33(3), 41~52