

제주도 중문 연안역의 물리해양 환경의 년변화

홍 창 수 · 방 익 찬
제주대학교 해양학과

Annual Variations of Physical Oceanographic Environments in the Coastal Sea of Chung-Moon, Cheju Island

Chang-Su Hong and Ig-Chan Pang

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

Annual variations of physical oceanographic environments in the coastal sea of Chung-Moon located in the south coast of Cheju Island, where water pollutions have started to influence on the ecological system by growing tourism complex, are studied with hydrographic data observed monthly. Tsushima Warm Waters (TWW) influence on the adjacent seas around Cheju Island all year round, especially strongly in winter, and Yangtze Coastal Waters (YCW) influence on the surface layer around Cheju in summer, and Yellow Sea Bottom Cold Waters (YSBCW) expanding southward influence on the bottom. Similar variations of water characteristics are found in Chung-Moon coastal sea. Temperature shows the maximum value of 27°C in July and minimum of 14.5°C in February, and salinity shows the maximum value of 34.7‰ in March and minimum of 31.8‰ in July. Temperature are vertically homogeneous in the coastal sea and thermocline does not happen even in summer, which seems to be caused by vertical mixing by winds, waves and tides. On the other hand, low salinity waters distribute near the stream mouth, and halocline are formed by fresh waters run-offs from the stream. Finally, surrounding environments including winds, tides, waves and fresh waters run-offs influence on the shallow area, while adjacent waters conditions around Cheju Island influence on the deep sea area in Chung-Moon coastal sea.

Key words : Chung-Moon coastal sea, annual variations, physical oceanographic environments

서 론

풍부한 관광자원을 보유하고 있는 중문은 제주도 관광의 중심도시로서 앞으로 국제적인 관광도시로 성장할 것으로 기대된다. 그러나 도시의 발전이나 관광단지 조성에 따라 각종 오염이 유발되고 있으며 수질오염은 연안해역을 오염시켜 연안해역의 생태계에 영향을 준다. 특히 중문 연안해역에는 주

변에 화력발전소와 하수처리장 및 중문해수욕장이 있으며 계획 중인 해상국립공원의 추진에 의한 생태계의 영향은 더욱 커질 것이다. 반면 수산업은 200해리 경제수역의 정착으로 원양어업의 전망이 불확실해지고 어패류의 남획으로 연안자원이 고갈되어 가며 해양오염으로 연안생태계가 파괴되고 있어 미래가 어두운 상황이다. 이러한 상황은 연안어장의 목장화에 관심을 갖게 하며 연안환경의 보전

홍창수·방의찬

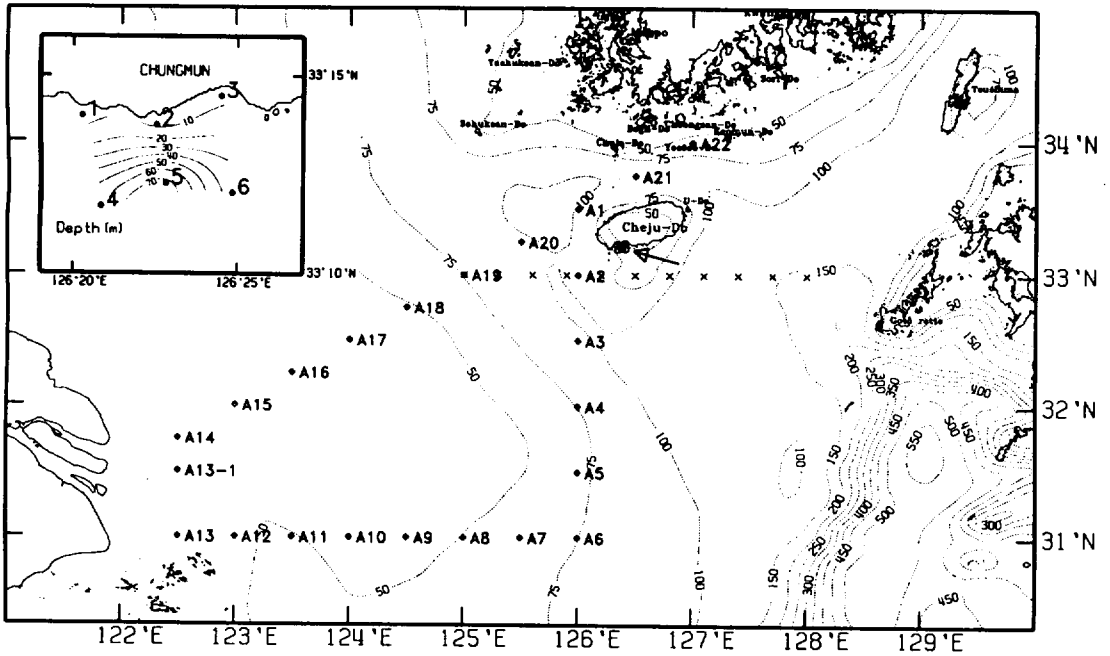


Fig. 1. Hydrographic stations of the coastal sea of Chung-Moon(○), National Fisheries Research & Development Institutes(NFRDI, 314 line)(×) and Cheju National University(◇) (depth in meters).

과 개선의 중요성을 일깨워 준다. 앞으로 해양오염이나 생태계 연구 등 연안환경에 대한 연구가 필요하며 이에 앞서 물리해양환경의 특성과 년변화와 같은 기초조사도 이루어져야 한다.

제주도 주변해역은 동중국해의 영향을 많이 받는데 동중국해와 직접 연결되어 있는 제주도 남쪽 연안인 중문해역은 더욱 그렇다. 조사해역에 영향을 주는 수괴로는 고염의 대마난류수, 저염의 중국 대륙연안수, 저온의 황해저층냉수 등이 있으며 이외에 연안에서 형성되는 연안수들이 있다(윤 등, 1991; Pang et al., 1992; 방 등, 1995; 김·노, 1997). 이밖에 해안은 육지로부터 유입되는 담수의 영향을 받을 것이다. 이 논문에서는 조사해역인 중문 연안역은 어떤 물리해양환경의 특성과 년변화를 하고 있는지를 조사해 보고 담수의 유입이나 중문관광단지의 개발과 기타 주변환경에 의해 연안의 물리해양환경은 어떤 영향을 받는지를 조사해 보았다.

조사해역은 화순항(정점2)을 중심으로 동쪽으로는 하수 종말 처리장과 중문해수욕장(정점3), 서쪽

으로는 화순화력발전소(정점1)까지 6개 정점을 97년 7월부터 98년 7월까지 매달 1회씩 조사하였으며 수심에 따라 천해역(정점1, 2, 3)과 심해역(정점4, 5, 6)으로 나눌 수 있다(Fig. 1). 참고에 사용된 자료에는 국립수산진흥원 자료, 제주대학교에서 관측한 자료, 기상자료들이 있다. 국립수산진흥원 자료는 1970~1997에 관측된 제주도 남부해역 314 Line의 수온·염분자료이며 제주대학교 자료는 97년 8월 24일부터 9월 4일까지 실습선 아라호를 이용하여 제주도와 중국 상하이 사이의 해역에서 관측한 자료이다. 기상자료는 97년 제주 남부의 서귀포와 서부의 고산지역의 강수량과 기온자료이며 육지의 담수유입에 대한 이 해역의 저염화와 기온과 표층수온과의 관계 등을 비교하였다.

주변해역 해수특성의 계절변화

Fig. 2은 제주 남부해역(314 line, NFRDI)에 대

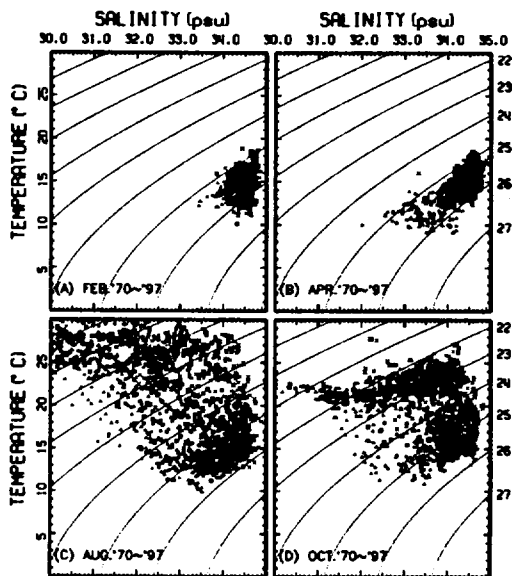


Fig. 2. T-S diagrams of the southern sea of Cheju Island in (A) February, (B) April, (C) August and (D) October (NFRDI, 314 line), during 1970-1997.

한 2, 4, 8, 10월의 T-S diagram을 나타낸 것이다 (1970~1997). 조사해역 중심으로 남동부(×), 남부(■), 남서부(▲)해역으로 나누어 표시하였다. 2월(A)은 34.0%이상의 고염수가 13~17°C의 수온분포를 보인다. 4월(B)은 2월에 분포했던 고염수가 존재하고, 제주도 남서부해역에 10°C미만의 냉수가 출현하며 33.0~34.2%의 염분분포를 보인다. 8월(C)의 표층은 고온한 저염수 영향을 받고 있다. 중층은 남동부해역(×)에서 동계 염분특성의 고염수가 존재하는 반면에 남서부해역(▲)에서는 나타나지 않는다. 저층은 10~12°C, 32.5~33.8%의 비교적 저염한 저온수와 13~17°C, 34.0%이상의 난류수가 존재한다. 저층의 고염한 난류수는 제주 동부해역 100m이상의 수심에서 등수심선을 따라 대한해협으로 빠져나가는 것으로 보인다(Pang and Oh, 1996; 현 등, 1997). 10월(D)의 표층은 저염수 영향이 줄어들었다. 표층수온이 하강한 반면에 중저층의 수온이 상승하였고, 고염수의 영향이 강해졌다. 제주 서부 중저층해역에는 저온저염수의 영향이 나타난다.

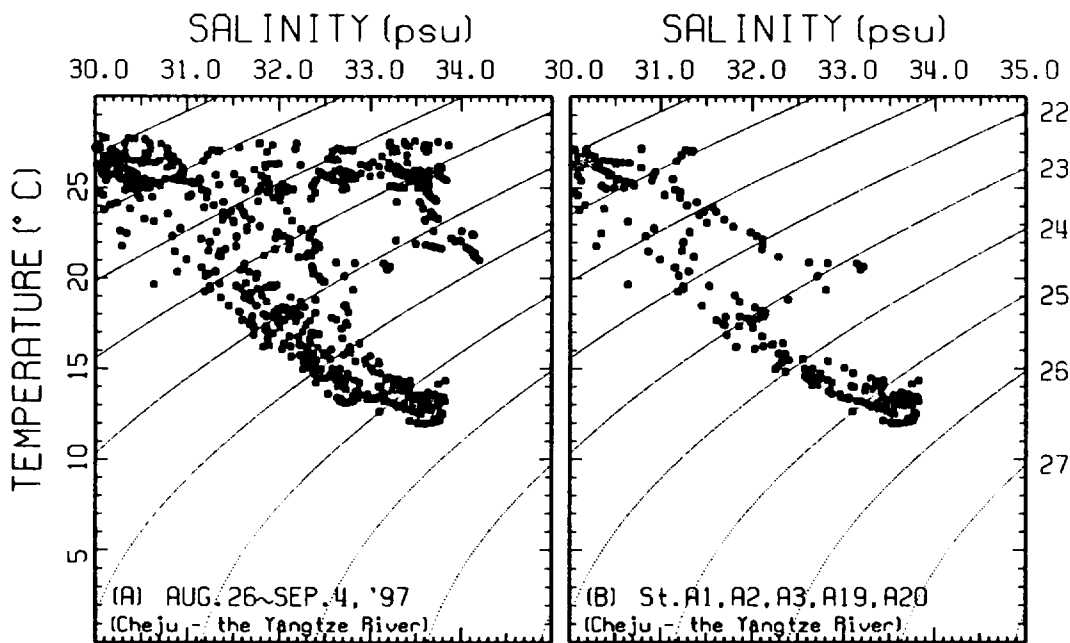


Fig. 3. T-S diagrams of hydrographic data observed in the sea between Yangtze River Mouth and Cheju Island (A) and the southwestern sea of Cheju Island (B) in August, 1997.

Fig. 3(A)는 97년 8월에 제주와 양자강 하구 사이의 해역에서 얻은 CTD(SBE19)자료의 T-S diagram이다. 표층에 31%이하의 고온한 저염수와 33.2~33.8%의 비교적 고염한 표층수가 분포하고 있으며 저층에 12~14°C, 32.6~33.8%의 비교적 저염한 해수가 존재한다.

제주도 주변해역은 동계에 고염한 대마난류수의 영향이 강하고, 하계에 양자강 연안수의 영향과 황해저층냉수의 남하로 인하여 고염수의 분포범위가 제주도 동부해역으로 축소된다.

중문연안역 해수분포의 계절별 변화

Fig. 4~5은 표층수온과 표층염분의 년변화를 나타낸 것이며 Table 1에는 여름과 겨울의 특성값들이다. 겨울철 중문연안역의 전해역과 여름철 심해역의 저층에서 15°C이상과 34.0%이상의 고온고염의 수괴가 분포하여 중문연안역은 기본적으로 대마난

류수의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 중문연안역의 표층에서 여름과 겨울의 해수특성 차이는 수온이 약 11~12°C이고 염분이 약 2.0~2.2‰로 매우 크다. 염분차이가 큰 것은 여름철 표층염분은 양자강 연안수의 영향으로 32‰이하로 내려가기 때문이다. 저층에서는 표층보다 특성차이가 적으며 특히 심해역에서는 차이가 아주 작다. (참고로 천해역의 수심은 10m도 되지 않기 때문에 저층의 특성분포는 그리지 않았으며 수직분포로 대신하였다.)

Fig. 6~9는 중문연안역 수직분포의 년변화를 보여준다. 심해역에서 여름철(7~8월)에는 표층에서 저층까지 거의 성층이 이루어지고 이후부터 차츰약화되며 10월까지 저층에 성층이 나타난다. 그러나 특이하게 천해역에서는 7월에 수온약층이 약하게 층이 나타나고 염분약층이 10월 말과 12월 초에 나타난 것 외에는 성층이 거의 형성되지 않고 있다. 이와 같이 천해역에 성층이 약하게 나타나는 것은 해안의 수심이 매우 얕아 태양열이 저층에까지 전달되고 이 해역의 강한 파랑과 조석으로 인해 상하

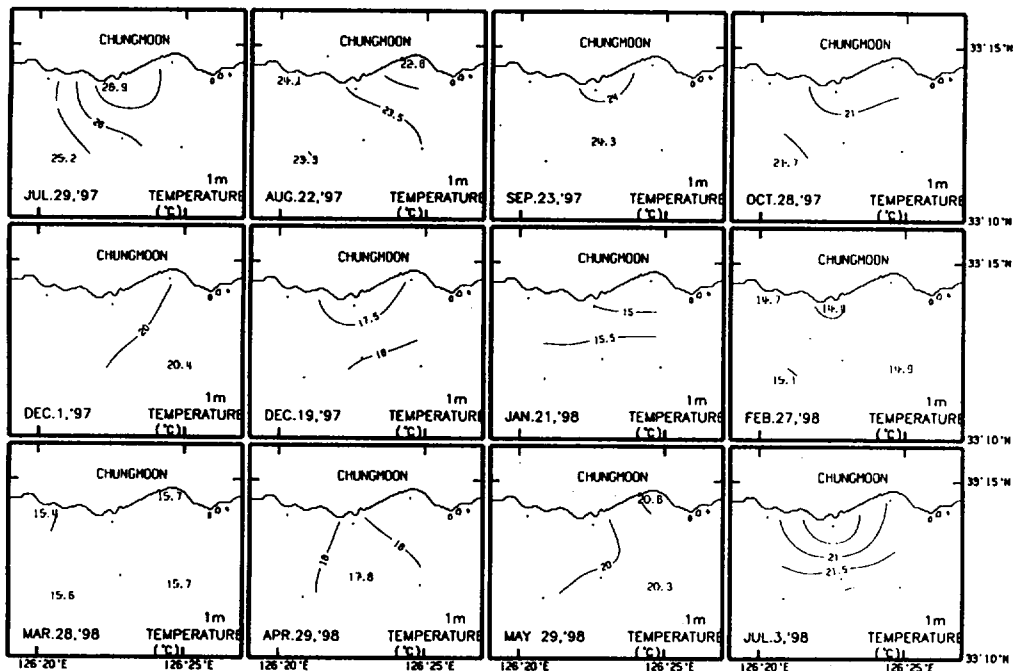


Fig. 4. Horizontal distributions of surface temperature in the coastal sea of Chung-Moon, from July 1997 to July 1998.

제주도 중문 연안역의 물리해양 환경의 년변화

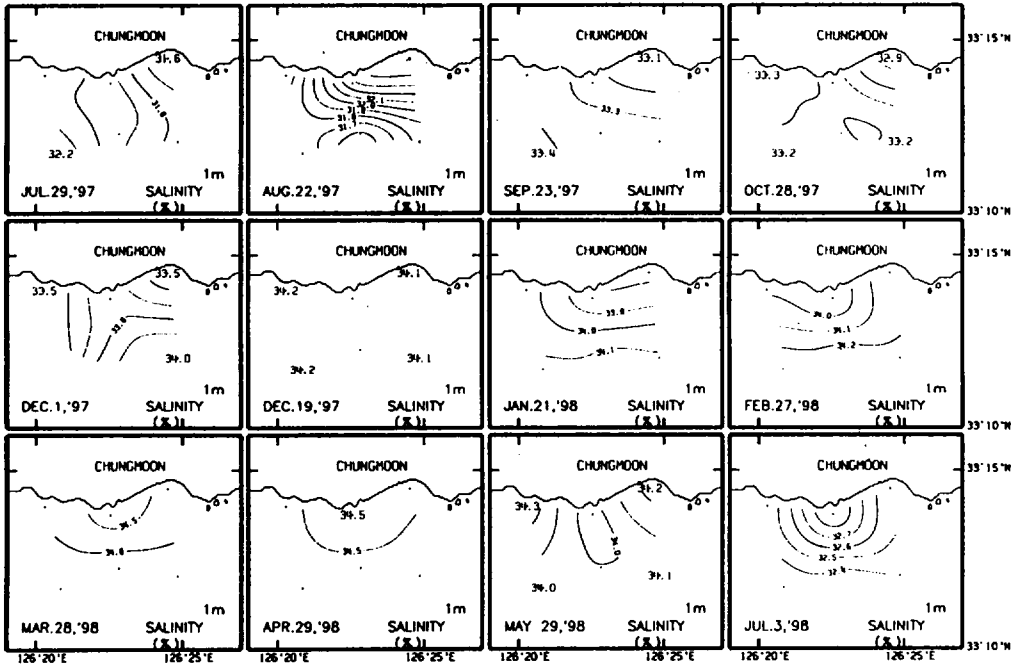


Fig. 5. Horizontal distributions of surface salinity in the coastal sea of Chung-Moon, from July 1997 to July 1998.

Table 1. Comparison of characteristics in the shallow sea and deep sea in Chung-Moon coastal sea.

		Temperature(°C)		Salinity(%)	
		shallow sea	deep sea	shallow sea	deep sea
Summer (Jul.)	surface	27~26	26~25	31.8~32.2	31.9~32.2
	bottom	25	16	31.8~32.0	34.0
Winter (Feb.)	surface	14.5	15	34.0	34.2
	bottom	14.5	14.8	34.2	34.2

층의 혼합이 활발하기 때문일 것이다. 12월 초에 천해역에 나타나는 염분약층은 같은 수심의 심해역에서 이러한 약층이 보이지 않는 점으로 보아 강수로 인한 담수유입에 의해 형성된 것으로 볼 수 있다. Fig. 10은 서귀포와 고산의 기온과 강수량을 나타낸 그림이다. 굵은 실선은 서귀포를, 가는 실선은 고산을 나타내었다. 강수량 자료인 막대 그래프에 빗금쳐진 부분은 조사 3일전부터의 강수량을 합산하여 나타낸 것인데 11월 말에 약 100mm의 강수량을 보여준다.

표층의 등염분선 분포는 겨울철에는 대개 해안선에 평행한데 비해 여름철에는 해안선에 수직인 경향이 나타난다. 특히 하천, 하수종말처리장, 중문 해수욕장이 있는 정점3 부근이 다른 정점보다 저염을 나타내 여름철에 급증하는 생활용수의 영향이 나타난 것으로 보인다. 이에 비해 화력발전소가 있는 정점1 부근의 염분은 대개 외양과 연결되어 염분변화가 없는 대신에 (화력발전소에서 사용되는 물은 해수이기 때문에 염분의 차이가 없음) 수온은 정점3 보다 약간 높게 나타난다.

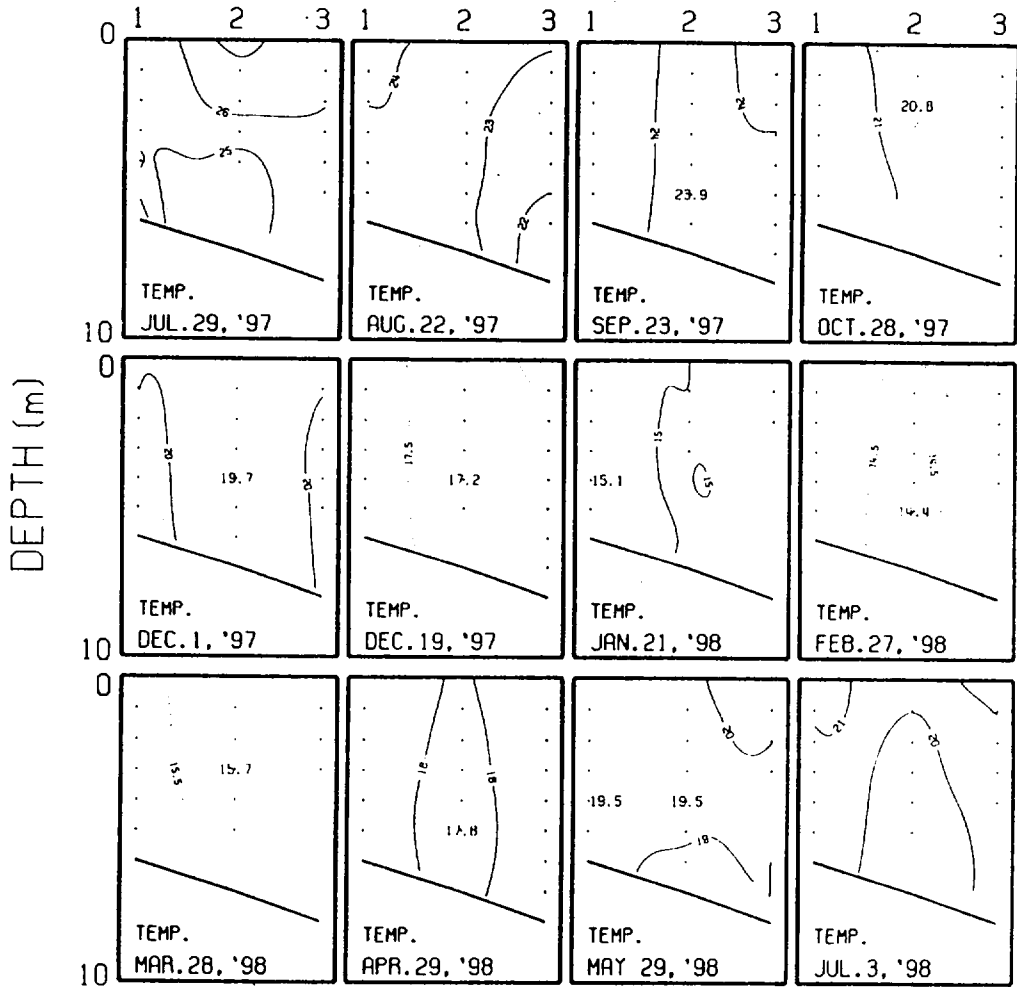


Fig. 6. Vertical distributions of temperature in the shallow sea in Chung-Moon coastal sea (St. 1, 2, 3) from July 1997 to July 1998.

중문연안역의 천해역과 심해역의 특성

Fig. 11은 중문연안역의 수온과 염분의 월별변화를 T-S diagram으로 각각 나타내었다. 천해역과 심해역을 비교하기 위하여 천해역을 'x'로, 심해역을 '●'로 구분하여 표시하였다.

천해역과 심해역은 모두 동계에는 고온고염수가, 하계 표층에는 고온저염수가 분포한다. 천해역에서 7월에 26°C 정도의 고온수가 나타나는데 비해 8월에는

는 오히려 3°C 정도 낮아지는데 이것은 6~7월 사이의 강수가 8월에 해안에서 용출되어 영향을 주기 때문인 것으로 보인다. 용출수의 영향은 심해역에까지는 나타나지 않는다. 심해역에서는 7월에 표층이 고온저염하고 저층이 저온고염하던 특성에 비해 8월에는 표층이 저온저염화되고 저층이 고온저염화되어 저층의 수온이 오히려 상승한다. 이러한 심해역의 변화는 상하층의 수직혼합을 보여준다. 심해역의 특성을 제주 남서부 해역(Fig. 3(B))의 특성과 비교하면 표층은 저온고염이고 중층은 고온고염

제주도 중문 연안역의 물리해양 환경의 년변화

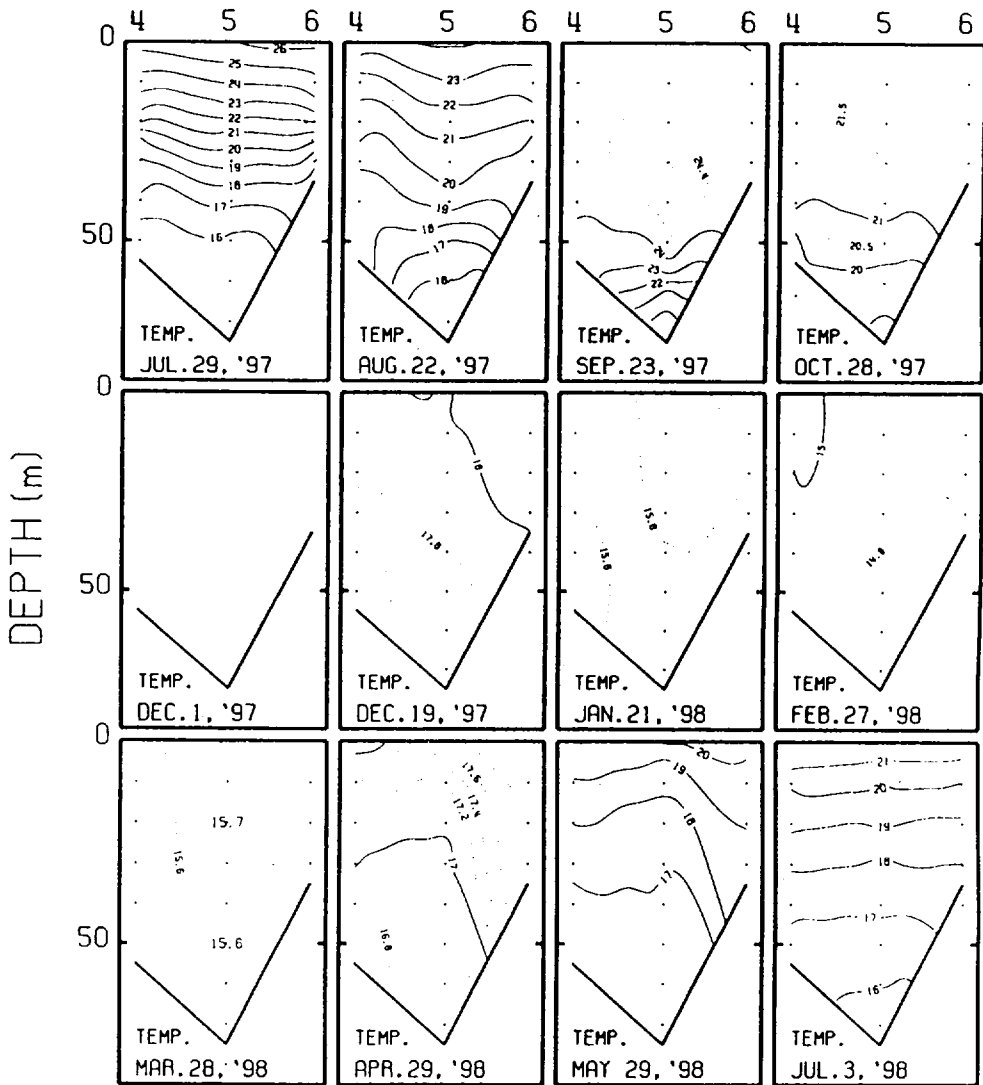


Fig. 7. Vertical distributions of temperature in the deep sea in Chung-Moon coastal sea (St. 4, 5, 6) from July 1997 to July 1998.

이며 심층은 고온이다.

가을(9, 10, 12월초)에는 표층수온이 점차 낮아지고 저염화현상이 현저하게 줄어들며 저층의 수온은 높아진다. 11월부터 심해역의 염분은 상하층 변화가 거의 없어지는데 비해 천해역의 염분은 담수의 유입에 의해 여전히 상하층 차이가 나타난다. 특히 3일 전의 강수량이 약 100mm를 보이고 있는 12월초 천

해역의 수직단면은 염분 성층을 이루고 있다. 강수량이 많지 않았던 10월에 보이는 천해역 표층의 저염은 지하수의 용출이나 생활하수 등에 의한 영향이 아닌가 생각된다. 겨울철에 들면서 수온은 낮아지나 대마난류수의 영향으로 15°C 이상을 유지한다.

전반적으로 천해역은 수심이 낮기 때문에 주변 환경의 영향에 대한 반응이 심해역보다 크게 나타

홍창수·방익찬

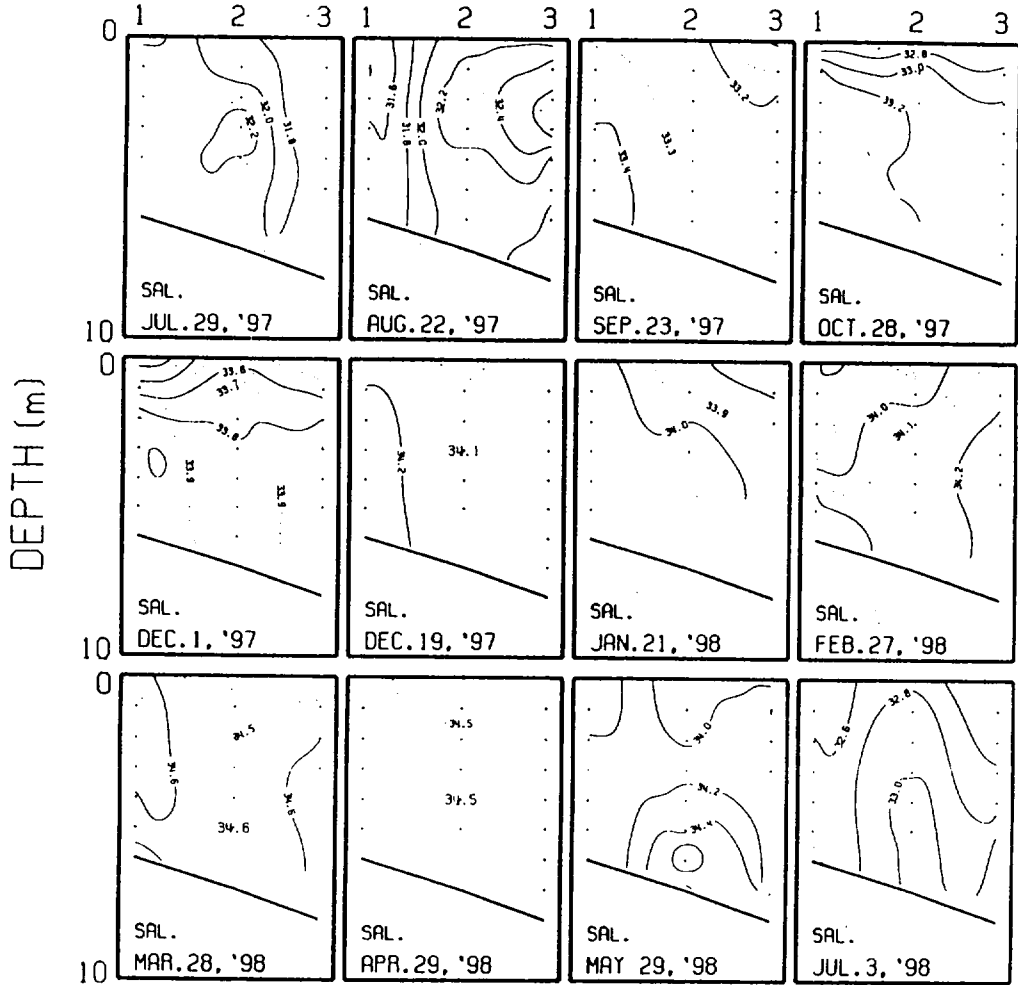


Fig. 8. Vertical distributions of salinity in the shallow sea in Chung-Moon coastal sea (St. 1, 2, 3) from July 1997 to July 1998.

난다. 태양열에 의한 수온 상승이 효과도 천해역이 크며 육지로부터 유입되는 담수에 의한 저염화 효과도 천해역이 크다. 그리고 일반적으로 수심이 얇은 천해역이 심해역보다 파랑이나 조류에 의한 상하층의 혼합이 활발히 일어나며 이러한 요인으로 천해역은 수직적으로 균일한 분포를 보인다.

주변환경에 의한 변화

정점1 부근에는 화력발전소가 있으며 해수를 냉

각수로 사용하고 연안으로 배출하고 있기 때문에 염분에는 영향이 없으며 수온에 영향을 줄 수 있다. 그러나 천해역은 파랑과 조석이 강하여 수직혼합이 활발하기 때문에 수온의 상승효과가 뚜렷하게 나타나지는 않는다. 정점1 부근이 정점2나 3보다 수온이 약간 높을 때가 많으나 그 수온이 외양과 연결되어 있어 냉각수의 효과라고 말하기 어렵다. 정점1 부근에는 그 밖에 황개천과 화순천이 있고 정점3 부근에는 하수종말처리장과 증문천이 있어 유입되는 담수에 의해 염분이 영향을 받을 것이다. 그러나 전반적으로 저염화는 정점1보다는 정점3 부

제주도 중문 연안역의 물리해양 환경의 년변화

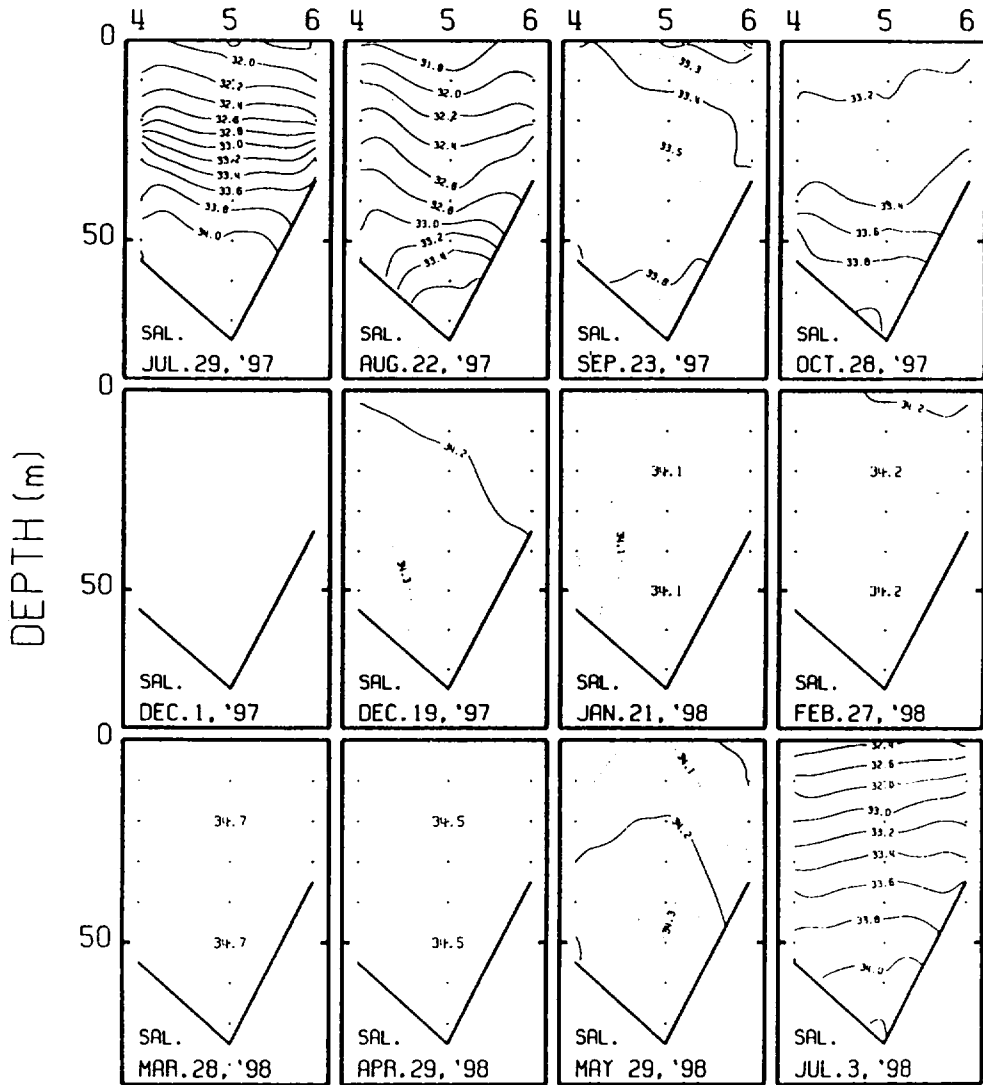


Fig. 9. Vertical distributions of salinity in the coastal deep sea in Chung-Moon coastal sea (St. 4, 5, 6) from July 1997 to July 1998.

근에서 더 크게 나타나지만, 그 범위는 그리 크지 않다.

결 론

중문연안역의 주변해역은 년중 고온고염의 대마 난류수 영향을 받고 있다. 그 외에 여름철에 표층

은 양자강연안수의 영향을 받으며 저층은 황해저층 냉수의 영향을 약간 받고 있다. 따라서 여름철에 표층에 고온저염의 양자강연안수와 저층에 대마난류수와 황해저층냉수의 혼합수가 나타난다. 전반적으로 천해역은 수심이 낮기 때문에 주변환경의 영향에 대한 반응이 심해역보다 크게 나타난다. 태양열에 의한 수온 상승이 효과도 천해역이 크며 육지로부터 유입되는 담수에 의한 저염화 효과도 천해

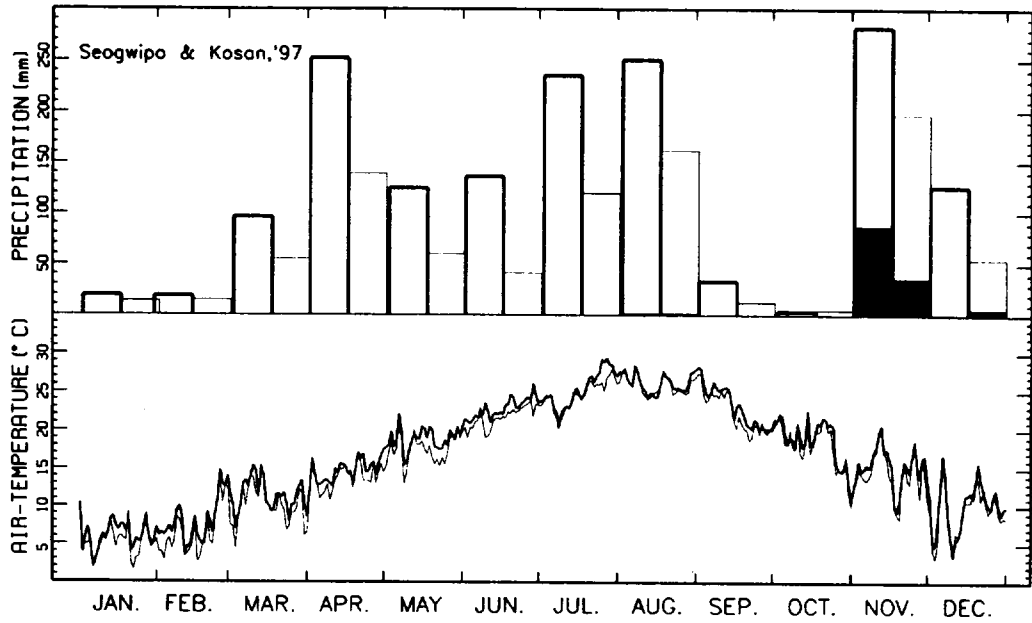


Fig. 10. Daily air temperature and monthly precipitation of Seogwipo and Gosan regions in 1997.

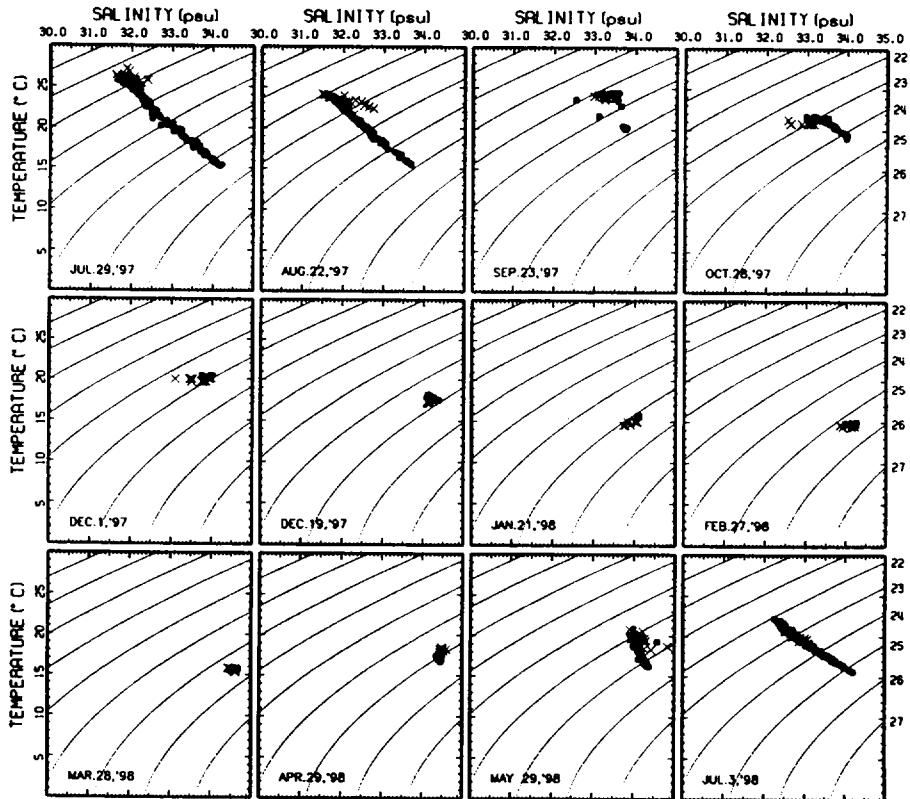


Fig. 11. Monthly T-S diagrams of the coastal area of Chung-Moon, during the period of Jul. 1997~Jul. 1998.

역이 크다. 또한 천해역에서는 일반적인 파랑이나 조류에 의한 수직혼합의 영향이 강하게 나타난다.

중문연안역 해수특성의 년변화는 수온이 14.5~27.0°C이고 염분이 31.8~34.2‰이다. 특이한 것은 최고수온이 7월에 나타나는데 8월의 수온은 7월보다 약 3°C 가량 낮아진다. 이것은 6~7월에 집중적으로 내린 강수가 8월에 해안가에서 용출되며 수온에 영향을 주기 때문일 것이다. 성층은 심해역에서 여름철에 이루어지고 이후부터 차츰 약화되어 10월까지 나타난다. 그러나 천해역은 수심이 매우 얇고 강한 파랑과 조석으로 상하층의 수직혼합이 활발하기 때문에 해안에서는 성층이 거의 형성되지 않고 있다. 그러나 천해역에서 약간의 염분약층이 형성되는데 같은 수심의 심해역에서 약층이 보이지 않는 점으로 보아 담수유입에 의해 형성된 것으로 볼 수 있다. 표층의 등염분선 분포는 겨울철에는 대개 해안선에 평행한데 비해 여름철에는 해안선에 수직인 경향이 나타나 하천과 하수종말처리장 등의 영향이 나타난 것으로 보인다.

요 약

제주도 관광의 중심도시인 중문지방에는 관광단지 조성에 따라 오염이 증가되고 있으며 특히 수질 오염은 연안해역을 오염시켜 연안해역의 생태계에 영향을 주고 있다. 이 연구에서는 해양환경 변화를 연구하는 첫 단계로 물리해양학적 환경의 특성과 년변화를 조사하였다.

제주도 주변해역은 연중 고온고염의 대마난류수의 영향을 받고 있는데 특히 겨울철에 영향을 많이 받으며, 여름철에는 양자강 하구에서 유입되는 저염의 양자강연안수와 황해 저층 중앙골에서 남쪽으로 확장되는 저온의 황해저층냉수의 영향을 받는다. 이러한 주변해역의 변화는 중문연안역에 영향을 미쳐 이 해역의 계절별 변화 양상도 유사하게 나타난다. 중문연안역의 수온변화는 7월에 최고 27.0°C, 2월에 최저 14.5°C이며 염분변화는 3월에 최고 34.7‰, 7~8월에 최저 31.6‰이다.

중문연안역 천해역의 수온구조는 바람 등의 기상현상이나 파랑과 조류에 의한 상·하층의 혼합으로 인해 여름철에도 수온약층이 생기지 않는데 비해, 하천과 하수종말처리장 부근에 저염현상이 나타나 담수의 유출로 인해서는 염분약층이 형성된다. 이와 같이 천해역 정점이 분포한 해안가는 기상현상이나 파랑과 조석 등의 해양현상 그리고 담수의 유입과 같은 주위의 환경에 영향을 받고 있는데 비해 중문연안역의 심해역은 외양의 해황에 영향을 더 받고 있다.

사 사

이 연구는 1997년 해양수산분야 특별공모과제 학술연구 조성비의 지원에 의한 것임. (1998-022-H00020)

참고문헌

- Pang I. C., H. K. Rho and T. H. Kim, 1992. Seasonal Variations of Water Mass Distributions and Their Causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the Adjacent Seas of Cheju Island. Bull. Kor. Fish. Soc. 25(2), 151~163.
- Pang I. C. and I. S. Oh, 1996. Warm Water Circulation and its Origin by Sea Level Fluctuation and Bottom Topography. Bull. Kor. Fish. Soc., 28(5), 677~697.
- 방익찬·노홍길·이재학, 1995. 제주도 북서해역의 해수분포의 계절변화와 여름철의 황해난류. 제주대 해양연구소 연구논문집, 19, 49~66
- 윤용훈·박용향·봉종현, 1991. 황해 저층냉수의 특성과 남하에 대한 재조명. 한국지구과학회지, 12(1), 25~37.
- 현경훈·방익찬·이재학·노홍길, 1997. 여름철 동중국해의 수괴분석과 대마난류의 북상경로. 제주대 해양연구소 연구논문집, 21, 85~101