

석사학위논문

제주해협의 해수분포와 유량의
계절변화



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 대학원

해양학과

홍 창 수

2001년 12월

석사학위논문

제주해협의 해수분포와 유량의
계절변화



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 대학원

해양학과

홍 창 수

2001년 12월

제주해협의 해수분포와 유량의 계절변화

지도교수 방 익 찬
홍 창 수

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

2001년 12월



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

홍 창 수의 이학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 고 유 봉 (인)

위 원 윤 정 수 (인)

위 원 방 익 찬 (인)

제주대학교 대학원

2001년 12월

The seasonal variations of
water mass distribution and current
in the Cheju Strait

Chang-Su Hong

(Supervised by professor Ig-Chan Pang)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY

GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

DECEMBER, 2001

목 차

그림 목차 (List of Figures)	i
표 목차 (List of Tables)	iii
Summary	iv
I. 서론	1
II. 자료 및 분석방법	3
III. 해수특성과 해수분포의 계절변화	8
1. 해수특성의 계절변화	8
2. 해수분포의 계절변화	10
3. 여름철 제주해협 서부의 저층 저온수	20
III. 해류의 계절변화	21
1. 지형류의 계절변화	21
2. 해류자료의 계절변화	21
3. 지형류와 해류자료의 비교	30
IV. 유량의 계절변화와 그 원인	30
1. 제주해협 유량의 계절변화	30
2. 바람이 제주해협에 미치는 영향	34
3. 제주해협 유량의 계절변화 원인	37
V. 결 론	40
- 참고 문헌	43
- 요 약	46
- 감사의 글	47

Fig. 9. Streaklines calculated with the data obtained by mooring current meter in the eastern Cheju Strait(Section4) in 1997.	26
Fig.10. Vertical profiles of eastward current speed measured with current meter in the Section4 in 1997. Positive values(solid line) are into the paper(eastward).	27
Fig.11. Comparisons of geostrophic current(●) with the currents measured with TGPS buoy(○) and current meter(△) in the Cheju Strait.	31
Fig.12. Monthly volume transports through the Cheju Strait calculated by geostrophic current and directly measured current(dashed line). Positive number indicates the eastward. Dashed stick is geostrophic volume transport in Section4 in August 25~28, 1997.	32
Fig.13. Monthly mean vertical profiles of eastward current speed measured with ADCP in the central Cheju Strait from March and December 1999.	33
Fig.14. Station map (A) and vertical profiles (B) of temperature, salinity and geostrophic current in August 21~28, 1997.	36
Fig.15. Wind vectors at Huksan Island (A) and Gosan (B) in August 1997. Strong southeast winds lasted about 3 days just before the observation.	38
Fig.16. Horizontal distributions of temperature and salinity at bottom in the western sea of Cheju Island in August 25~September 1, 1997.	39

표 목차 (List of Tables)

Table 1. Positions and time of release and collection of TGPS buoys in the Cheju Strait in 1996~1997.	5
Table 2. Summary list of stations moored current meter in the eastern Cheju Strait in 1997.	6
Table 3. Current speed calculated by detecting the surface float released in the Cheju Strait in 1996~1997.	24
Table 4. Mean current measured with current meter in the eastern Cheju Strait in 1997.	28
Table 5. Observed and geostrophically calculated volume transport through the Cheju Strait.	35

Summary

The seasonal variations of water mass distribution and current in the Cheju Strait.

Seasonal variations of water mass distribution and current in the Cheju Strait have been studied with hydrographic and current data observed from September 1995 to June 1998 and the results are as follows:

In the Cheju Strait, higher temperature and higher salinity are shown in the western part in winter and in the eastern part in summer. It is due to the fact that in winter Tsushima Water expands to the Yellow Sea and flows eastward in the Cheju Strait, but in summer Tsushima Water shrinks up to the east of Cheju Island by the southward expansion of Yellow Sea Cold Water and flows northward to the eastern Cheju Strait. Stratification in summer is strengthened by the inflow of Yangtze Coastal Water, and thermoclines and haloclines are deeper in the southern part than in the northern part. Such a vertical structure increases the baroclinic component of current in the Cheju Strait.

Currents in the Cheju Strait have the eastward barotropic component of about 5cm/sec through the year and become stronger in summer by the addition of baroclinic component related with water mass distributions. Being compared with directly measured currents, geostrophic currents show satisfactorily the seasonal variation of currents in the Cheju Strait. The volume transport calculated by geostrophic current varies seasonally from about 0.1Sv in winter to about 0.4Sv in summer. With the barotropic component of 0.2Sv, the total volume transport varies from about 0.3Sv in

winter and to about 0.6Sv in summer. The seasonal difference of volume transport is about 0.3Sv in geostrophic currents, but about 0.3~0.4Sv in directly measured currents.

We fortunately detect that strong winds change water mass distributions and currents in the Cheju Strait. Southeasterly strong(over 10m/sec) winds lasted for 3-4 days in summer drive strong westward currents along both the coastal regions of the Cheju Strait to reduce the total volume transport in the Cheju Strait to nearly zero, which is shown in geostrophic currents.

Key Words : Cheju Strait, Water mass distribution, Geostrophic current, Volume transport, Wind.



I. 서 론

제주해협 서쪽 해역은 황해와 동중국해가 만나는 경계해역으로 많은 계절변화 현상들이 나타나는 해역이다. 겨울철에는 난류수가 제주도 남부에서 황해 중앙부로 확장하는 반면에 (Uda, 1934; Byun and Chang, 1988; Pang et al., 1992), 여름철에는 황해중앙의 냉수가 동중국해 방면으로 남하하고 (Asaoka and Moriyasu, 1966; Nakao, 1977; Lie, 1984; Park, 1985, 1986; Kim et al., 1991; Youn et al., 1991) 또한 난류수는 한국 남서해로 북상한다 (Pang and Hyun, 1998). 그리고 여름철 양자강 하구에서 형성된 양자강연안수는 북동진하면서 제주도 주변해역의 표층에 영향을 미친다 (Yu et al., 1983; Beardsley et al., 1983; Zhao et al., 1983; Kim, 1986). 제주도 서부해역의 해수들은 제주해협으로 유입(Chang et al., 2000; Lie et al., 2000)하기 때문에 이러한 계절현상들은 제주해협에 영향을 주게 된다. 그런데 제주도 서방해역에서 발생하는 계절변화들은 대부분 황해와 동중국해의 해수순환에 의해 발생하므로(Pang and Oh, 2000), 제주해협은 황해와 동중국해의 해수순환과 밀접하게 관련되어 있다고 볼 수 있다. 아직까지는 이러한 중요성이 덜 인식되었기 때문에 제주해협은 관심을 많이 받지 못해 왔었다. 그러나 황해와 동중국해의 해수순환과 제주도 서방해역의 관계가 밝혀짐에 따라 제주해협의 중요성도 점점 인식되고 있으며 제주해협 자체의 문제와 더불어 황해와 동중국해의 계절순환을 이해하기 위해서도 제주해협을 연구하는 것이 필요해지고 있다.

제주해협의 중요성은 서쪽 해역과의 관계뿐만 아니라 동쪽 해역과의 관계에서도 나타난다. 대한해협을 통과하는 해수는 제주도와 일본의 오도열도 사이의 해역과 제주해협을 통해 유입된다. 대한해협을 통과하는 유량과 제주도와 일본의 오도열도 사이를 통과하는 유량의 관계는 비교적 관심을 받는데 비해 제주해협을 통과하는 유량의 관계는 별로 관심을 받지 못했다. 그러므로

제주해협을 통과하는 유량을 연구하는 것은 제주해협의 유량이 대한해협 유량에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보기 위해서도 중요하다.

제주해협의 해수분포와 유량을 연구하기 위하여 1995년 9월부터 1998년 6월까지 매월 수온과 염분을 조사하였고, 같은 시기에 해류를 관측하였다. 그러나 넓은 해역의 해류를 직접 관측하는 것은 쉬운 것이 아니며 관측된 해류자료만을 가지고 제주해협 전체의 유량을 알아보는 데에도 부족한 점이 있다. 따라서 이 논문에서는 지형류가 제주해협에서 어느 정도의 해류를 반영하는지를 살펴보고 지형류로 해류와 유량의 계절변화를 알아보았다.



II. 자료 및 분석방법

수온과 염분

Fig.1과 같이 남북방향 4개의 단면(24개 정점)에 대해 CTD(Conductivity Temperature Depth meter; SBE19 model)를 이용하여 1995년 9월부터 1998년 6월까지 매월 관측이 이루어졌고, 자료들 간의 시간차를 줄이기 위하여 3일 이내에 관측을 완료하였다. 그러나 기상악화와 기기오작동 등으로 인해서 연속되는 매월 자료는 얻지 못하였다.

해류

해류관측은 표류하는 부이를 추적하여 해류의 유속과 공간이동을 측정하는 라그랑지(Lagrangian) 방법과 고정된 지점에서 일정한 간격으로 해류의 유향과 유속을 측정하는 오일러(Eulerian) 방법을 동시에 병행하면서 이루어졌다.

Fig.1에서처럼 1996년부터 1997년까지 총 8개의 TGPS(Telemetering of Global Positioning System) 부이(Buoy)를 제주해협 중앙에 투하하여 표층(수심 5~10m) 해류를 추적하였고(Table 1), 1997년에는 제주해협 동부해역 4개의 정점에서 해류계(RCM7)를 설치하여 층별로 해류관측을 하였으며(Table 2), 1999년 3월부터 12월까지 처음과 해류계(ADCP; Acoustic Doppler Current Profiler)를 제주해협 중앙 해저면(수심 120m)에 고정시켜 장기간 동안에 해류를 관측하였다. 조석의 영향을 제거하기 위하여 부이의 유속은 25시간동안의 이동궤적에서 처음과 끝을 연결한 직선거리를 부이의 이동거리로 하여 계산하였고, 해류계의 유속은 해류계의 유향에 편각을 보정한 후 동류와 북류 성분으로 나누어서 단기간 자료는 25시간동안의 평균으로, 장기간 자료는 Fourier 함수를 통하여 조석을 제거하는 방법으로 계산하였다.

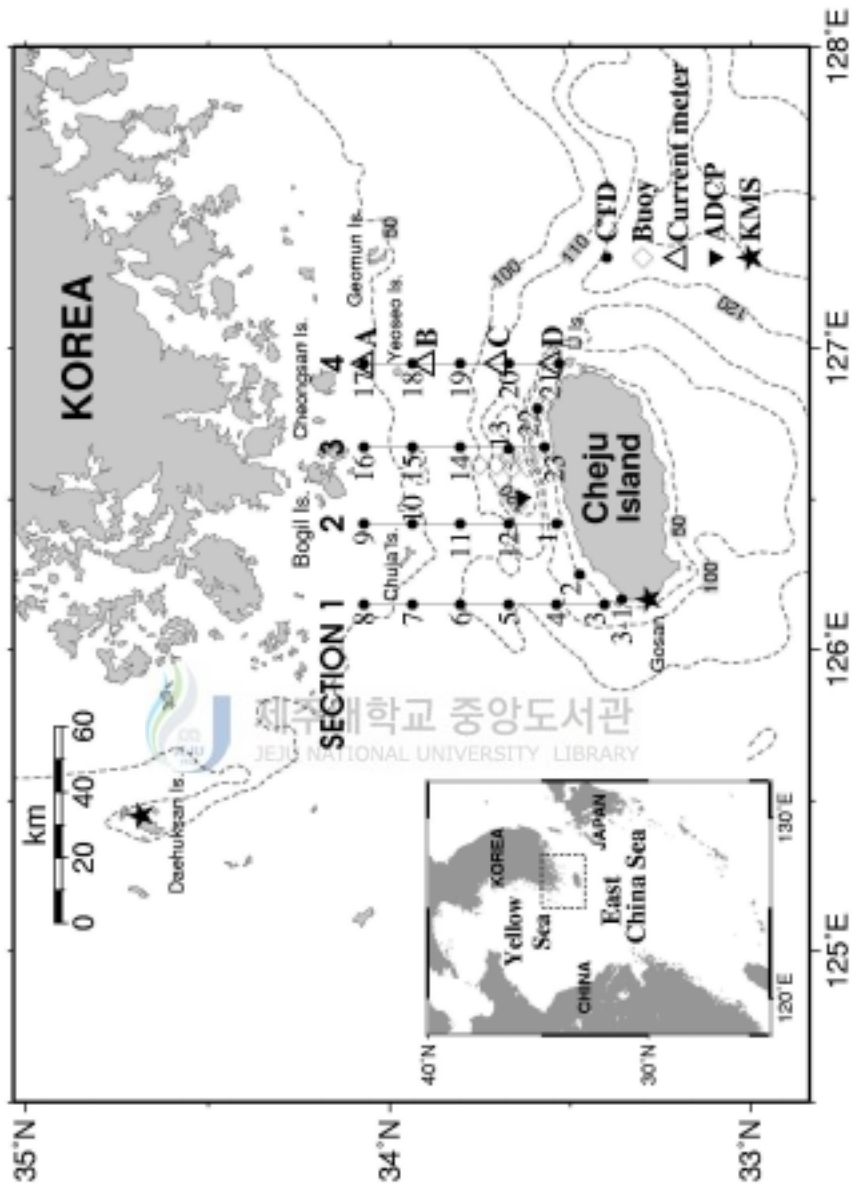


Fig. 1. Map of the Cheju Strait with isobaths in meters, observation stations for hydrography(●), TGPS buoy(◇), current meter (△) and ADCP(▼), and Korea Meteorological Stations(★; KMS).

Table 1. Positions and time of release and collection of TGPS buoys in the Cheju Strait in 1996~1997.

Buoy No.	Release			Collection		
	Time	Position		Time	Position	
		Lat.(N)	Long.(E)		Lat.(N)	Long.(E)
1	Apr.28, 1997 17:00	33°40.3'	126°38.0'	May 3, 12:33	33°47.2'	127°10.2'
2	May 31, 1996 07:31	33°34.5'	126°48.8'	Jun. 1, 08:57	33°30.7'	126°58.9'
3	Jul.10, 1997 12:24	33°40.0'	126°38.8'	Jul.12, 05:31	33°37.0'	126°58.4'
4	Aug.27, 1997 21:15	33°45.2'	126°36.8'	Aug.29, 09:08	33°57.6'	127°24.5'
5	Aug.27, 1997 21:13	33°35.6'	126°37.2'	Aug.29, 15:39	33°31.8'	126°51.5'
6	Sep. 4, 1997 12:47	33°39.8'	126°36.2'	Sep. 9, 23:35	34°08.2'	127°50.6'
7	Oct.18, 1997 10:03	33°42.4'	126°36.7'	Oct.21, 13:03	33°52.3'	127°52.1'
8	Oct.18, 1997 11:02	33°37.2'	126°36.4'	Oct.24, 11:40	33°46.1'	126°49.4'

Table 2. Summary list of stations moored current meter in the eastern Cheju Strait in 1997.

Station name	Position (Lat.(N), Long.(E))	Bottom depth(m)	Mooring depth(m)	Period	Data status
A	34°04.00 ' , 126°57.00 '	50	15	Feb.24, 02:14~Feb.25, 17:04	
B	33°54.00 ' , 126°57.00 '	80	15	Feb.23, 15:48~Feb.24, 17:58	
			57	Feb.23, 15:53~Feb.24, 18:03	Direction error
			75	Feb.23, 15:43~Feb.24, 17:53	
	33°54.02 ' , 126°57.90 '	88	13	Aug.29, 18:20~Aug.30, 18:05	
			55	Aug.29, 18:20~Aug.30, 18:05	
			80	Aug.29, 18:20~Aug.30, 18:05	
	33°53.68 ' , 126°58.17 '	82	12	Oct.23, 12:00~Oct.24, 10:20	
			42	Oct.23, 12:00~Oct.24, 10:20	Direction error
			70	Oct.23, 12:00~Oct.24, 10:20	

Table 2. Continue

Station name	Position (Lat.(N), Long.(E))	Bottom depth(m)	Mooring depth(m)	Period	Data status
C	33°42.00 ' , 126°57.00 '	120	15	Feb.22, 12:17 ~ Feb.23, 14:07	
			58	Feb.22, 12:16 ~ Feb.23, 13:56	
			105	Feb.22, 12:41 ~ Feb.23, 13:41	
	33°40.24 ' , 126°57.68 '	120	13	Jun.16, 15:10 ~ Jun.17, 16:20	
			58	Jun.16, 15:15 ~ Jun.17, 16:25	
			105	Jun.16, 15:10 ~ Jun.17, 16:20	
	33°42.65 ' , 126°58.03 '	120	13	Aug.28, 14:30 ~ Aug.29, 16:45	
			56	Aug.28, 14:30 ~ Aug.29, 16:45	
			93	Aug.28, 14:30 ~ Aug.29, 16:45	
	33°42.50 ' , 126°59.61 '	122	13	Oct.20, 14:30 ~ Oct.21, 18:40	
			53	Oct.20, 14:30 ~ Oct.21, 18:40	
			103	Oct.20, 14:30 ~ Oct.21, 18:40	
D	33°32.23 ' , 126°57.72 '	100	13	Jun.14, 16:08 ~ Jun.16, 13:47	
			56	Jun.14, 16:16 ~ Jun.16, 13:52	
			95	Jun.14, 16:11 ~ Jun.16, 13:41	
	33°32.54 ' , 126°57.21 '	110	15	Sep. 4, 15:40 ~ Sep. 7, 11:10	
			60	Sep. 4, 15:40 ~ Sep. 7, 11:10	Direction error
			95	Sep. 4, 15:40 ~ Sep. 7, 11:10	
	33°33.10 ' , 126°57.48 '	120	13	Oct.22, 07:15 ~ Oct.23, 08:30	
50			Oct.22, 07:15 ~ Oct.23, 08:30	Direction error	
			100	Oct.22, 07:15 ~ Oct.23, 08:30	

지형류 계산

지형류 계산은 두 정점사이에 흐름이 없는 무류면을 해저면으로 설정하고 계산하였다. 지형류의 유속과 유량을 계산하기 위하여 FORTRAN Subroutine (Unesco, 1983, 1991)를 이용하였다.

III. 해수특성과 해수분포의 계절변화

1. 해수특성의 계절변화

제주해협에서 매월 관측한 해수특성 값들을 T-S diagram에 나타내었다 (Fig.2). 가로축은 염분(30~35‰), 세로축은 수온(5~30°C)이다. T-S diagram 상의 비스듬한 점선은 등밀도선이고 오른쪽 가로축에 밀도(σ_t) 값을 표시하였다.

제주해협의 해수특성 분포는 겨울철과 여름철로 구분된다. 겨울철 분포는 고온고염수와 저온저염수가 등밀도선에 평행한 직선분포를 하고 12~4월에 나타났다. 여름철 분포는 고온저염수와 저온고염수가 등밀도선을 가로지르는 직선분포를 하고 6~10월에 나타났다. 그리고 5월(봄철)과 11월(가을철)은 각각 겨울철에서 여름철로, 여름철에서 겨울철로 변화하는 과정을 보였다.

등밀도선에 평행한 분포는 겨울철 해수가 쉽게 수직혼합이 일어날 수 있음을 의미하는 것으로 제주해협의 해수는 균질한 상태임을 보여준다. 반면에 등밀도선을 가로지르는 분포는 여름철에 수직적으로 성층이 강화되어서 수직혼합이 어렵다는 것을 보여준다. 따라서 여름철에 제주해협의 해수는 혼합되어진 상태에서 제주해협으로 유입된 것으로 생각된다.

제주해협의 해수특성 분포가 계절변화를 보이는 것은 제주해협에 나타나는

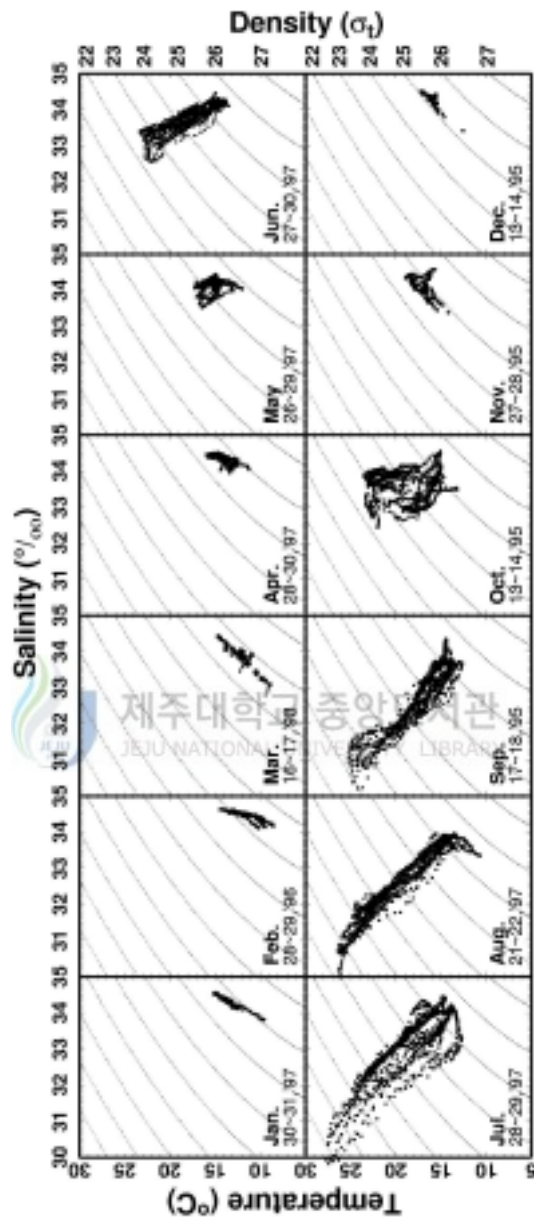


Fig. 2. Monthly T-S diagrams from the hydrographic data observed in the Cheju Strait from September 1995 to June 1998.

수괴의 영향이 계절에 따라 다르기 때문이다. 겨울철에는 고온고염의 대마난류수와 10℃이하의 냉수가 나타났다. 그러나 제주해협 전체가 34%이상의 고염인 특징으로 보아 냉수도 대마난류수계로 보아야 하며 따라서 제주해협 전해역이 대마난류수의 지배적인 영향권에 있음을 알 수 있다. 그런데 3월에 나타난 냉수(9℃이하, 33%이하)는 2월의 것(9℃이하, 34.2%)과는 구별된다. 이 냉수는 염분이 낮은 황해의 해수로 보아야 하며 난류수가 황해방면으로 확장하는 겨울철에 황해냉수가 제주해협으로 유입되는 특이한 현상으로 여겨진다.

한편, 여름철 상층에는 30%이하의 해수가 나타났는데 이 시기에 제주해협 주변의 강수량과 담수의 유입으로는 이러한 저염수가 형성되기 어려우며, 양자강연안수가 제주해협으로 유입한 것이다(Pang et al., 1999). 하층에서는 겨울철의 고염인 특성이 여전히 남아 있지만 겨울철보다는 저염이었다. 수온이 상승하는 여름철에 오히려 하강하는 것은 냉수의 영향으로 보아야 한다. 8월에 나타나는 냉수는 2월의 고염인 특징과는 다르며 3월의 저염인 특성에 가깝다. 이것은 황해냉수가 여름철 제주해협 저층에 영향을 미치는 것을 보여준다. 그러므로 제주해협에는 대마난류수가 겨울철에 전반적인 영향을 미치는 반면 여름철에는 연안수의 영향이 강화되었음을 알 수 있었다.

2. 해수분포의 계절변화

Fig.2의 월별 해수특성 값들을 공간분포로 나타내어 보았다. Fig.3~4는 수평분포를, Fig.5~6은 제주해협 서부(Section 1)와 동부(Section 4)의 수직단면을 나타낸 그림이다.

일반적으로 대마난류가 제주도 동부해역을 통과하게 되므로 제주도 동부에는 고염의 난류수가 넓게 분포하고, 제주해협 북서쪽에는 냉수가 존재하여서 두 수괴가 만나는 제주해협에서는 동북동방향의 전선이 형성된다. 그러나 겨울철 제주해협에서는 최고온고염수가 제주해협 남서부 연안에서 제주해협으로

유입하였다. 특히 12월에는 난류수가 제주해협 남서부에서 북부로 확장하여 동남동방향의 전선이 나타났으며, 해협 서부와 동부 단면을 비교해보면 해협 서부가 동부보다 고온고염인 것을 알 수 있다. 이것은 겨울철 제주도 남부해역에서 황해방면으로 확장하는 대마난류수가 제주해협 서부로 유입되고 동쪽으로 이동하면서 수직혼합과 대기로의 열 방출 등이 일어나기 때문에 나타나는 현상이다.

반면 여름철에는 최고염수가 제주해협 동부의 골(정점20)에 나타났고, 이보다 덜 고염인 해수가 해협 북부사면에 평행하게 분포하였다(Fig.6). 그런데 이 해수는 해협 서부보다 고염이므로 해협 서부에서 온 해수라고 볼 수 없다. 따라서 이러한 고염수의 분포는 난류수가 제주해협 동부로 유입하고 해협 북부사면을 거슬러 북상한다는 것을 암시한다. 한편 해협 서부에서는 해협 북서부의 저온수가 동쪽으로 이동하면서 제주도 북부연안까지 확장하였다. 이러한 결과 겨울철에 해협 북부(보길도부근)에 나타나던 수온전선이 제주도 북서부연안에서 형성되었는데, 이러한 전선의 남하하는 여름철에 황해의 해수가 제주도 남부해역으로 확장하면서 제주해협에 영향을 미치는 것을 의미한다. 특히 8월에는 이 저온수보다 더 저염한 황해냉수가 관입하였고, 이때에는 제주해협의 성층이하에 채워져 있던 34%이상의 고염수는 존재하지 않는다. 이것은 황해냉수가 남하하면서 제주도 서부해역에 분포하던 난류수를 제주도 동부해역으로 밀어낸다는 의미이다. 따라서 겨울철에 제주해협 서부로 유입하던 난류수가 여름철에는 해협 동부를 따라 북상하는 현상은 황해냉수가 남하하면서 겨울철에 황해 쪽으로 확장하던 난류수는 제주도 남동쪽으로 위축되고, 제주해협 동부로 유입되는 것으로 보여진다. 그 결과 여름철에는 겨울철과 반대로 제주해협 동부가 서부보다 고온고염이었다.

표층에서는 5월부터 제주해협 북서부에서 양자강연안수의 영향이 나타나기 시작하였고 10월에 약화되었다. 영향이 가장 강한 7~8월에 나타나는 혀 모양 분포는 양자강연안수가 제주해협 서부로 유입하여 해협 동부로 유출되는 것을

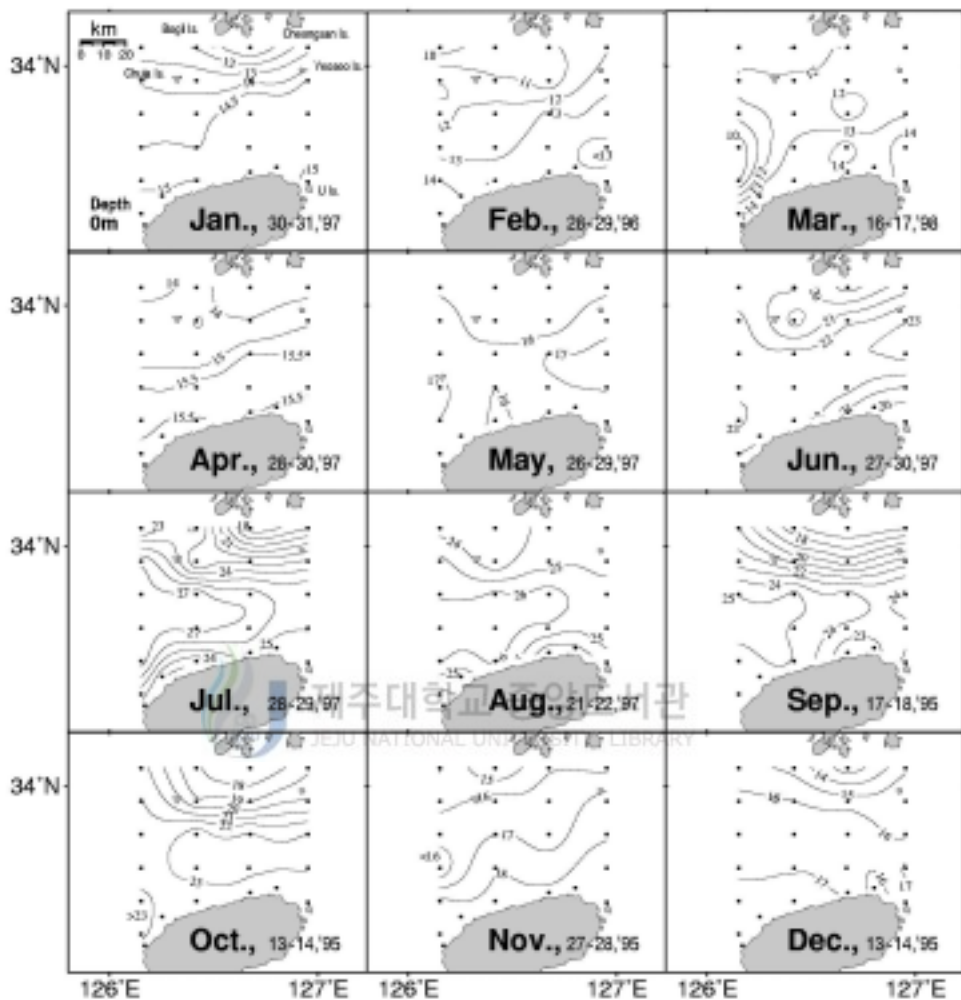


Fig. 3(A). Monthly horizontal distributions of temperature in the Cheju Strait between September 1995 to June 1998 on the depth of 0m.

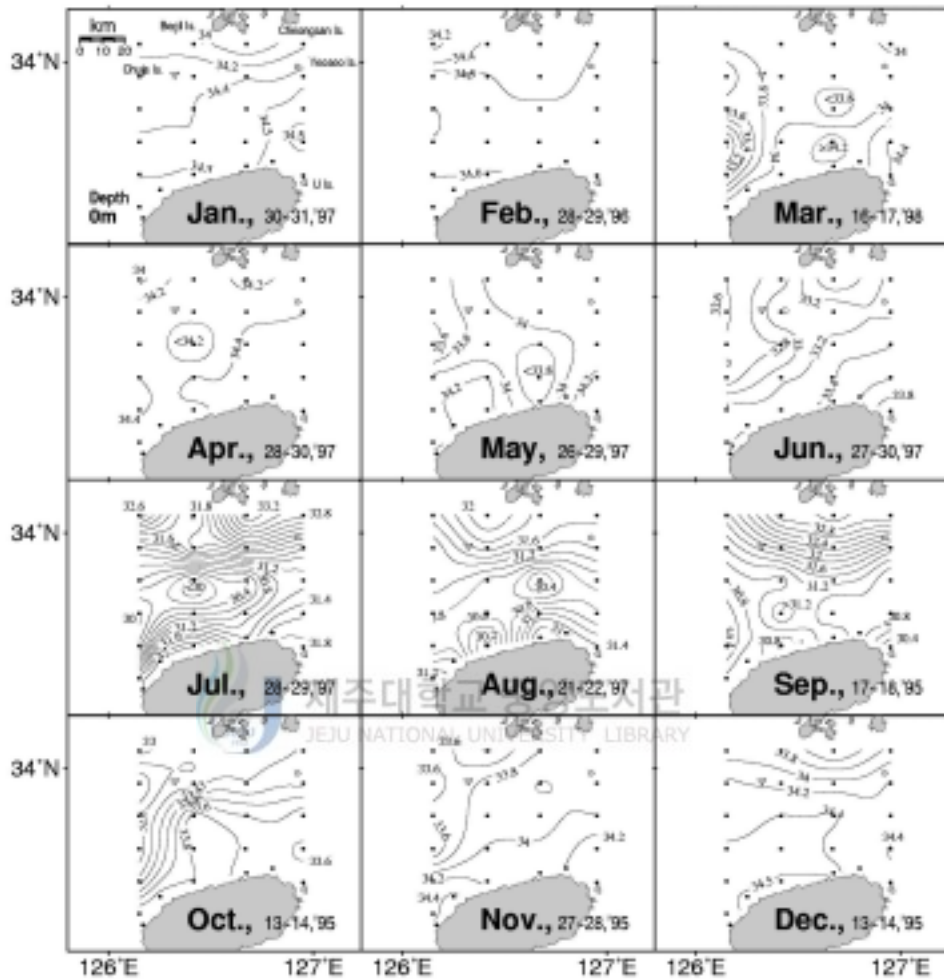


Fig. 3(B). Monthly horizontal distributions of salinity in the Cheju Strait between September 1995 to June 1998 on the depth of 0m.

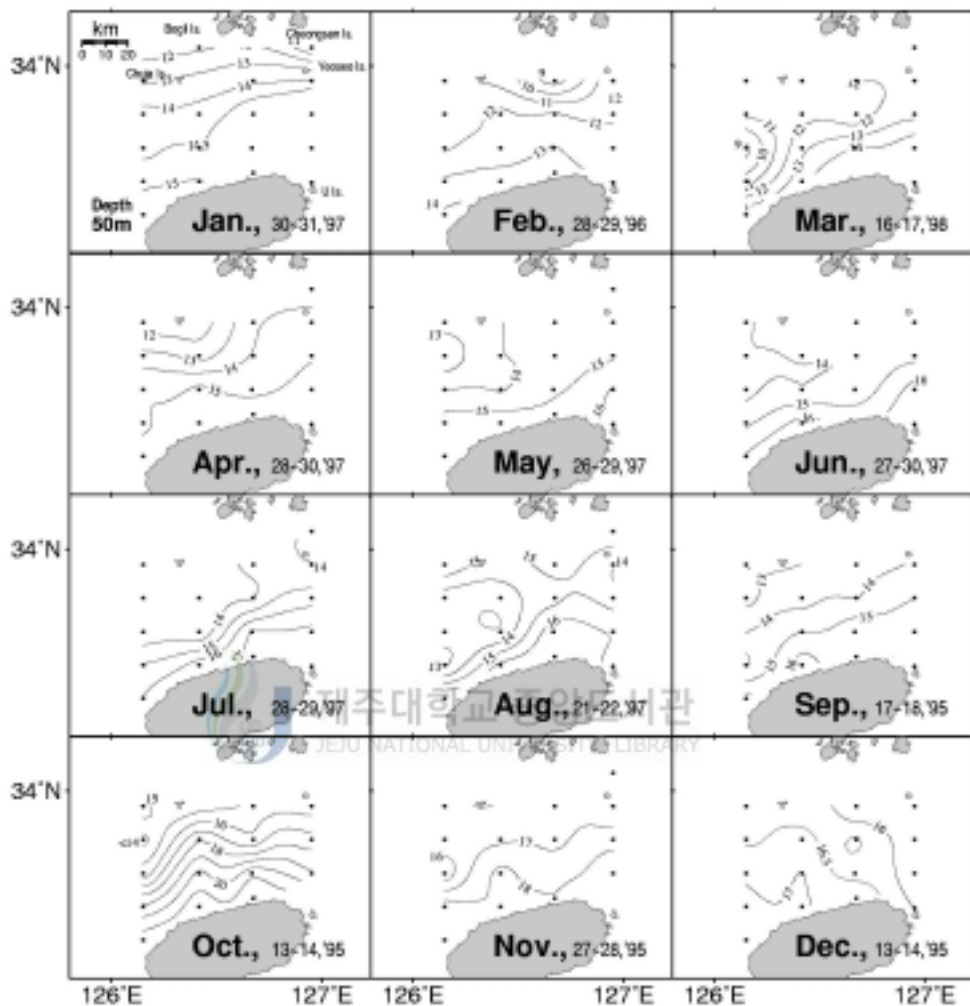


Fig. 4(A). Monthly horizontal distributions of temperature in the Cheju Strait between September 1995 to June 1998 on the depth of 50m.

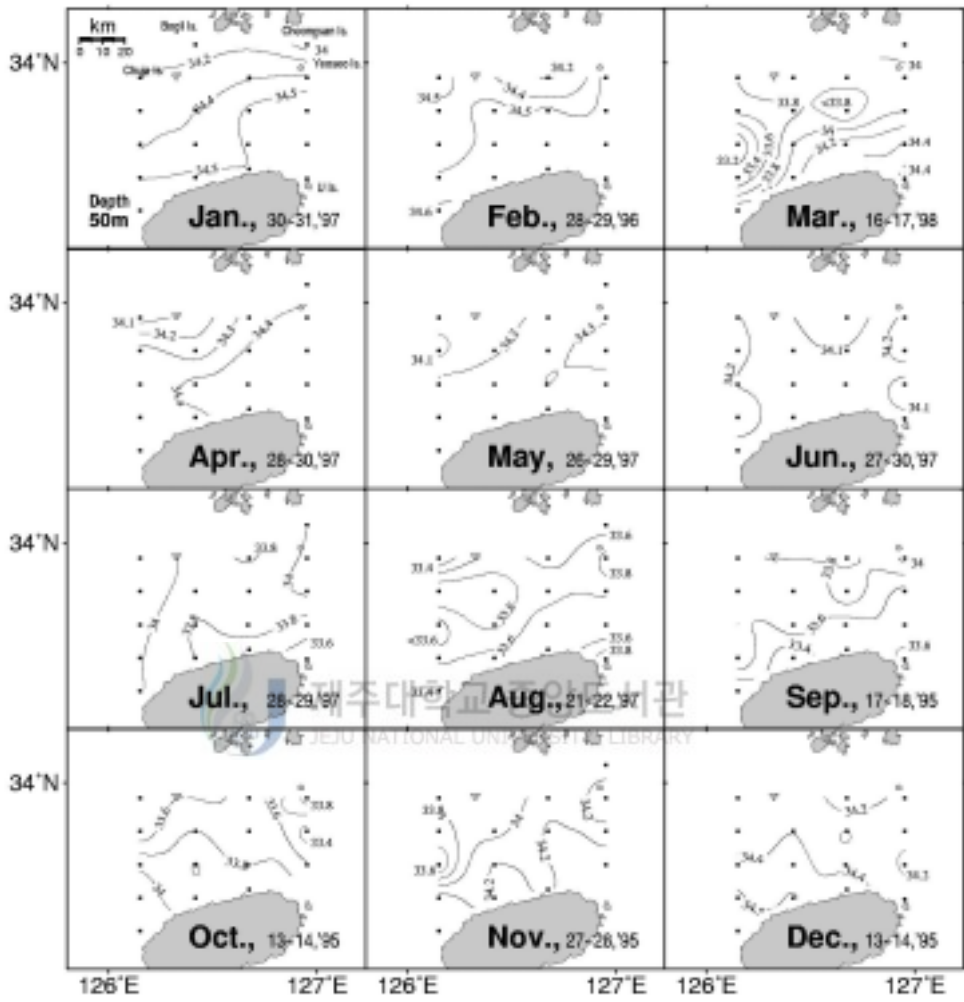


Fig. 4(B). Monthly horizontal distributions of salinity in the Cheju Strait between September 1995 to June 1998 on the depth of 50m.

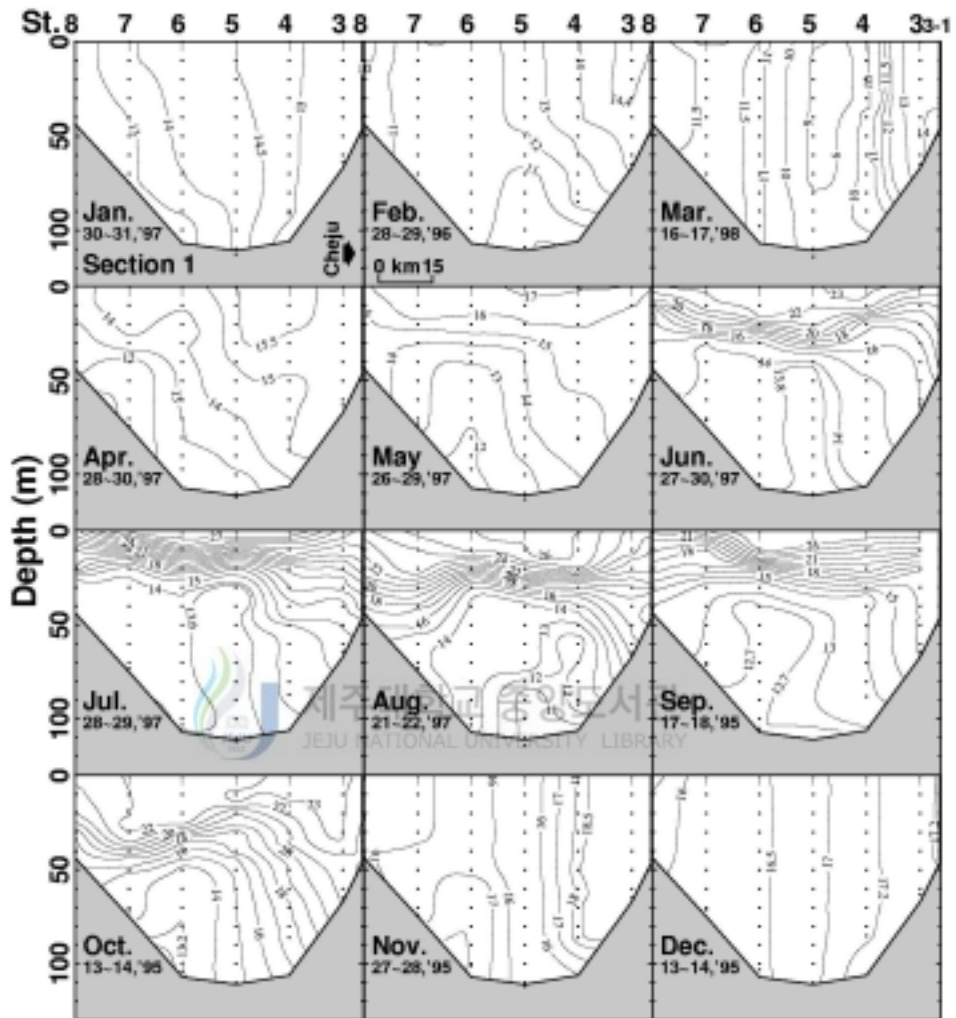


Fig. 5(A). Monthly vertical profiles of temperature between September 1995 to June 1998 in western Cheju Strait(Section1).

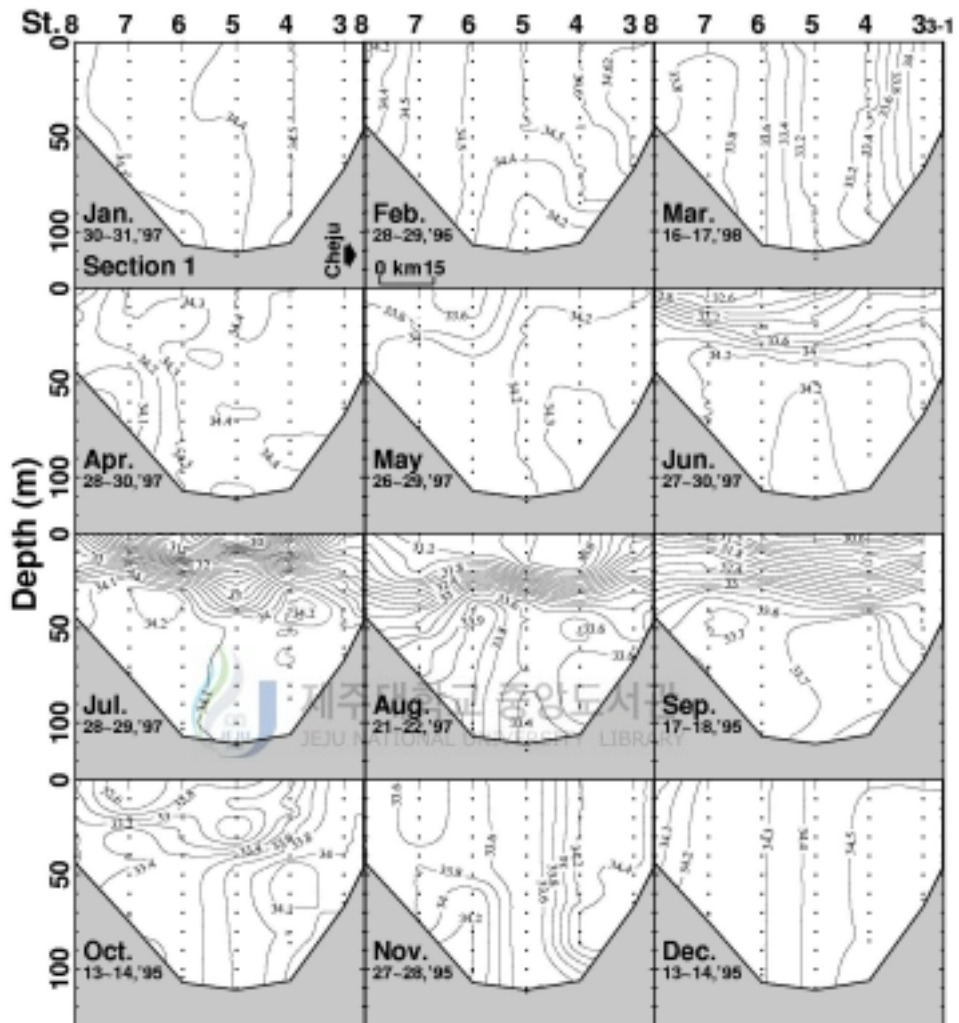


Fig. 5(B). Monthly vertical profiles of salinity between September 1995 to June 1998 in western Cheju Strait(Section1).

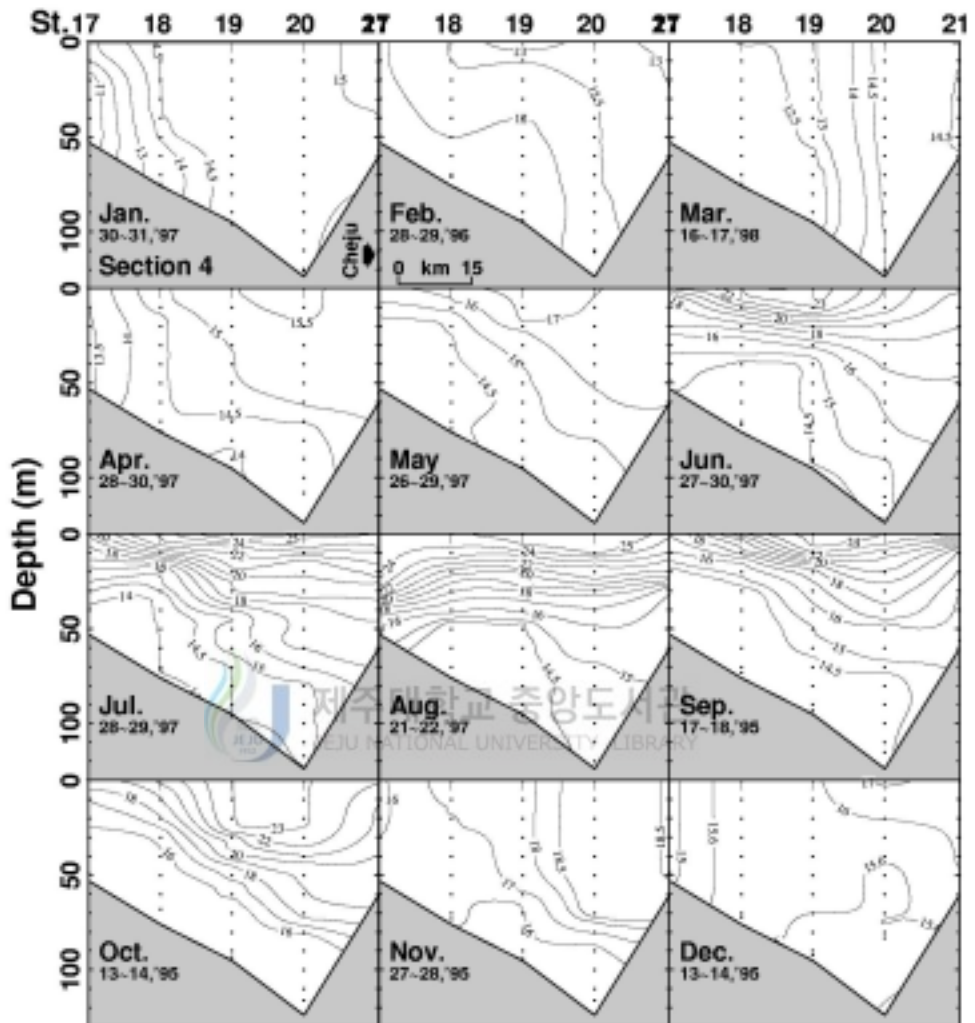


Fig. 6(A). Monthly vertical profiles of temperature between September 1995 to June 1998 in eastern Cheju Strait(Section4).

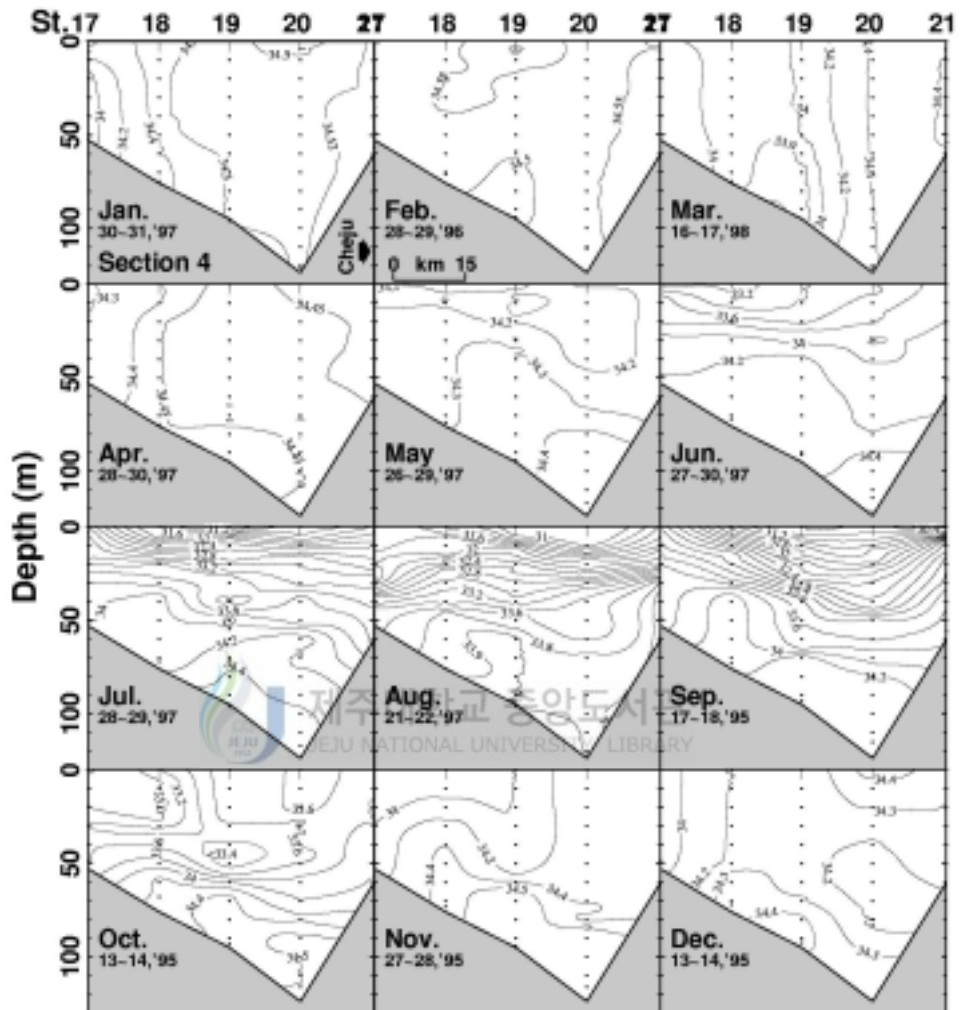


Fig. 6(B). Monthly vertical profiles of salinity between September 1995 to June 1998 in eastern Cheju Strait(Section4).

보여준다. 여름철에는 양자강연안수의 유입으로 성층이 강화되었고, 그 영향은 수심 30m까지 나타났다. 성층 이하에서는 해협 서부의 저온수와 동부의 고염수가 해협 북부에 치우쳐 분포하면서 수온과 염분약층이 제주해협 북부보다 남부에서 깊게 나타났다. 이러한 수직구조는 제주해협 해류의 경압성분을 증가시킬 것이다.

3. 여름철 제주해협 서부의 저층 저온수

제주해협 서부(Section1)에서는 저온수가 해협 북부에 분포하고 이보다 고온인 해수가 해협 남부에서 나타났다(Fig.5). 이 저온수는 4월부터 나타나기 시작하며 10월에 약화되는 것으로 보이며, 해수특성은 수온이 12~14℃, 염분이 33.5~34.2‰이었다. 그러나 4월(겨울철)과 여름철(6~10월)의 저온수는 제주해협으로 유입되는 방향이 다른 것으로 생각된다. 4월의 저온수(12℃, 34.2‰)는 해협 남부의 고온수와 연결되지 않았고 1월의 냉수와 비슷한 특성을 나타내어 제주해협 북서쪽해역(남서해)에서 제주해협으로 유입되었다. 반면에, 5~6월 염분분포의 변화는 해협 남부의 고염수의 분포가 해협 북부로 확대되어가는 과정을 보여주고, 그 이후의 성층이하에서는 균일한 고염수가 채워졌다. 그런데, 8월에는 황해저층냉수(11℃, 33.4‰)가 해협으로 직접 유입하였으며 해협 북부에 나타나던 저온수(14℃, 33.9‰)의 분포가 줄어들었다. 만약 이 저온수가 황해냉수에서 기원한 것이라면 그 영향이 더 강화되어야 할 것이고, 남서해에서 유입된 것이라면 분포범위가 축소되지 않을 것이다. 따라서 저온수는 제주도 (남)서부해역에서 제주해협으로 유입되는 난류수를 따라 유입된 것으로 생각되며, 8월에 분포가 축소된 것은 황해저층냉수가 제주해협으로 유입하는 저온수의 경로를 차단하였기 때문으로 생각된다. 이 저온수는 남하하는 황해저층냉수의 영향을 받기는 하지만 해수특성으로 보면 황해냉수와 구분되며 난류수에 가까웠다. 그러므로 황해저층냉수와 난류수가 접하는 경계해

역에 나타나는 저온수로 해석되며, 여름철 남서해로 북상하는 난류수의 근원이 되는 것으로 생각된다.

III. 해류의 계절변화

1. 지형류의 계절변화

Fig. 7은 제주해협 동부(Section 4)의 해수특성 값(Fig. 6)을 가지고 계산한 지형류 유속의 월별 단면도이다. 지형류는 연중 동류를 보였으며 5월에서 11월까지 해협 중앙에서는 10cm/sec이상의 유속이 꾸준히 나타났다. 지형류의 주류는 해협 골(정점20)에서 약간 북쪽(정점18과 19사이)에 위치하였으며 최고 50cm/sec이상의 유속이 나타났다.

2. 해류자료의 계절변화

1) 부이(Buoy)의 추적결과

Fig. 8은 제주해협의 표층(5-10m) 해류를 추적한 부이의 이동궤적을 나타낸 그림이고, 부이추적결과를 종합하여 계산한 표층해류의 유속을 Table 3에 정리하였다. 총 8회의 자료를 평균한 결과 제주해협의 표층해류는 21.4cm/sec의 유속으로 동북동(76°) 방향으로 이동하였고, 동(서)류와 (남)북류성분은 각각 약 20.8cm/sec, 5.0cm/sec로 동류 성분이 북류 성분보다 약 4배정도 강하였다. 부이의 최대유속은 8월에 약 52cm/sec(4번 부이)이고, 8번 부이를 제외하면, 최소유속은 4월에 약 9cm/sec(1번 부이)로 나타났다.

부이의 이동은 해협 중앙(1, 3, 4, 6, 7번 부이)과 제주도 북부연안(2, 5, 8번

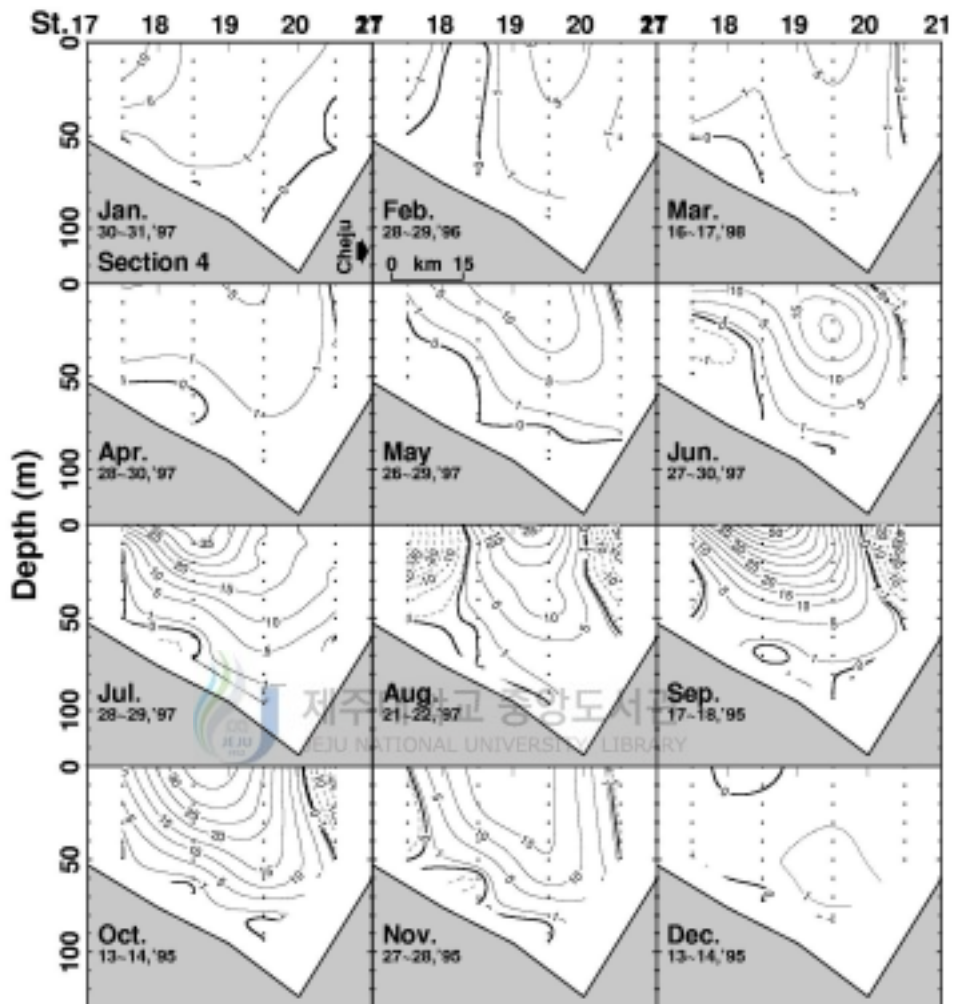


Fig. 7. Monthly vertical profiles of geostrophic current in Section4. Positive values(solid line) are into the paper(eastward).

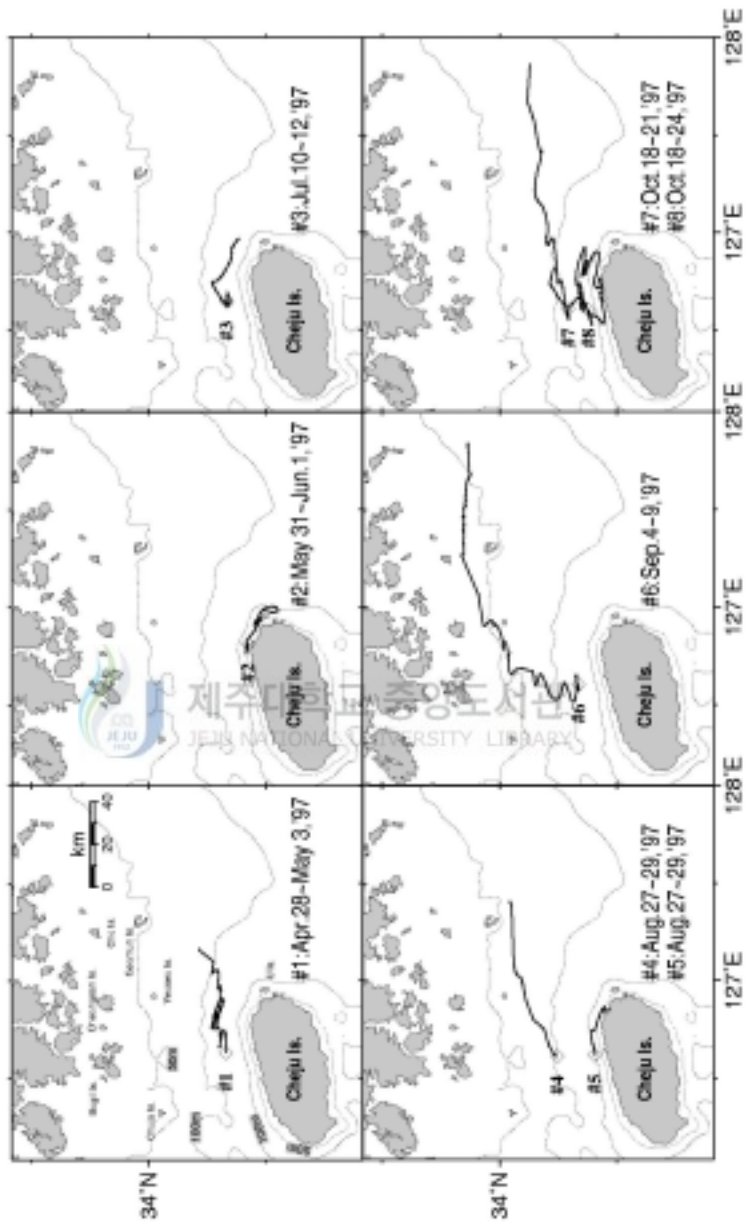


Fig. 8. Trajectories of TGPS buoys released in the Cheju Strait in 1996 and 1997. The symbols of 「◇」 are releasing position of TGPS buoy.

Table 3. Current speed calculated by detecting the surface float released in the Cheju Strait in 1996~1997.

Buoy No.	Observation period	Duration time (hour)	Moving distance (km)	Mean current				Ratio (E/N)
				Speed (cm/sec)			Direction (°)	
				Eastward	Northward	Total		
1	Apr.28~May 1	115.6	51.2	8.7	0.7	8.7	85	12.4
2	May 31~Jun.2	25.4	17.4	17.5	-10.6	20.5	121	1.7
3	Jul.10~12	41.1	30.7	18.2	0.6	18.2	88	30.3
4	Aug.27~29	35.9	76.9	46.8	22.7	52.0	64	2.1
5	Aug.27~29	42.4	23.2	24.0	-5.0	24.5	102	4.8
6	Sep.4~7	130.8	125.9	11.6	18.8	22.1	32	0.6
7	Oct.18~21	75.0	117.6	38.1	10.5	39.5	75	3.6
8	Oct.18~24	144.6	26.0	1.6	2.6	3.1	32	0.6
Average		-	-	20.8	5.0	21.4	76	4.2

부이)에서 다르게 나타났다. 해협 중앙에서는 (북)동쪽으로 이동하는 반면 제주도 북부연안에서는 해안선을 따라 동남동 방향으로 이동하여서 제주해협 중앙부에서 해류가 둘로 갈라지는 현상을 보였다. 그리고 우도부근을 통과하는 부이는 유속이 감소하거나 방향을 바꾸어 서쪽으로 이동하였는데, 이것은 제주도 동부연안에서 제주해협으로 유입하는 흐름이 존재하는 것을 보여준다.

2) 해류계의 관측결과

Fig. 9는 1997년 제주해협 동부(Section 4)에서 층별로 관측된 해류계의 유향과 유속을 가지고 계산한 해수의 진행벡터를 나타낸 그림이고, 그 동류성분의 수직분포를 Fig.10에 나타내었으며, 해류계의 결과들을 Table 4에 정리하였다.

관측된 해류계의 유속을 전층에 대해 평균한 결과 제주해협의 해류는 약 11cm/sec의 유속으로 동북동(81°) 방향으로 이동하였다. 관측된 해류의 유속 범위는 표층에서 5~55cm/sec, 저층에서 2~17cm/sec이었고, 최강류는 10월에 여서도 부근해역(정점B)에서 나타났다.

해협 동부 골(정점C)에서의 해류는 겨울철에 (남)동류를 보였으나, 여름철에는 북류를 나타내었고 이 흐름은 해협 북부(정점A~B)에서 제주해협을 빠져나갔다. 이것은 여름철에 해협 동부에서 해협 북부사면에 평행한 고염수 분포(Fig.6)를 설명해주는 결과이다.

지형류와 해류자료의 결과를 종합해보면 해협 동부를 따라 북상하는 흐름은 해협 서부로 유입되어 동진하는 해류를 북쪽으로 이동시키고, 해협 북동부에서 두 흐름이 만나게 되므로 이 곳의 유속이 강하게 나타나는 것으로 생각할 수 있다. 해협 동부의 북상류는 여름철에 강하게 나타났고 이 때에는 해협 동부에서 시계방향으로 회전하는 와류가 존재할 것으로 생각된다.

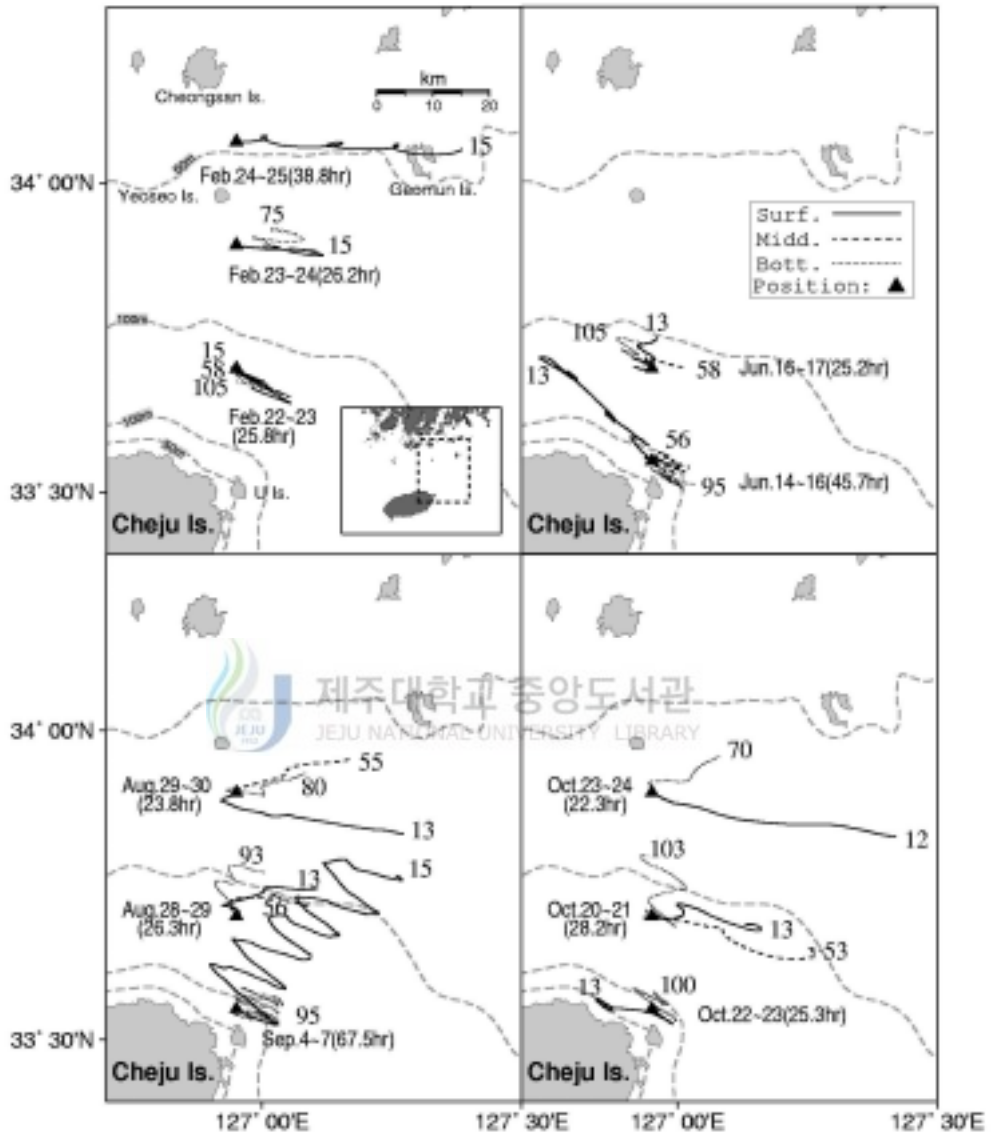


Fig. 9. Streaklines calculated with the data obtained by mooring current meter in the eastern Cheju Strait in 1997. Numbers on the map are mooring depth and observed period.

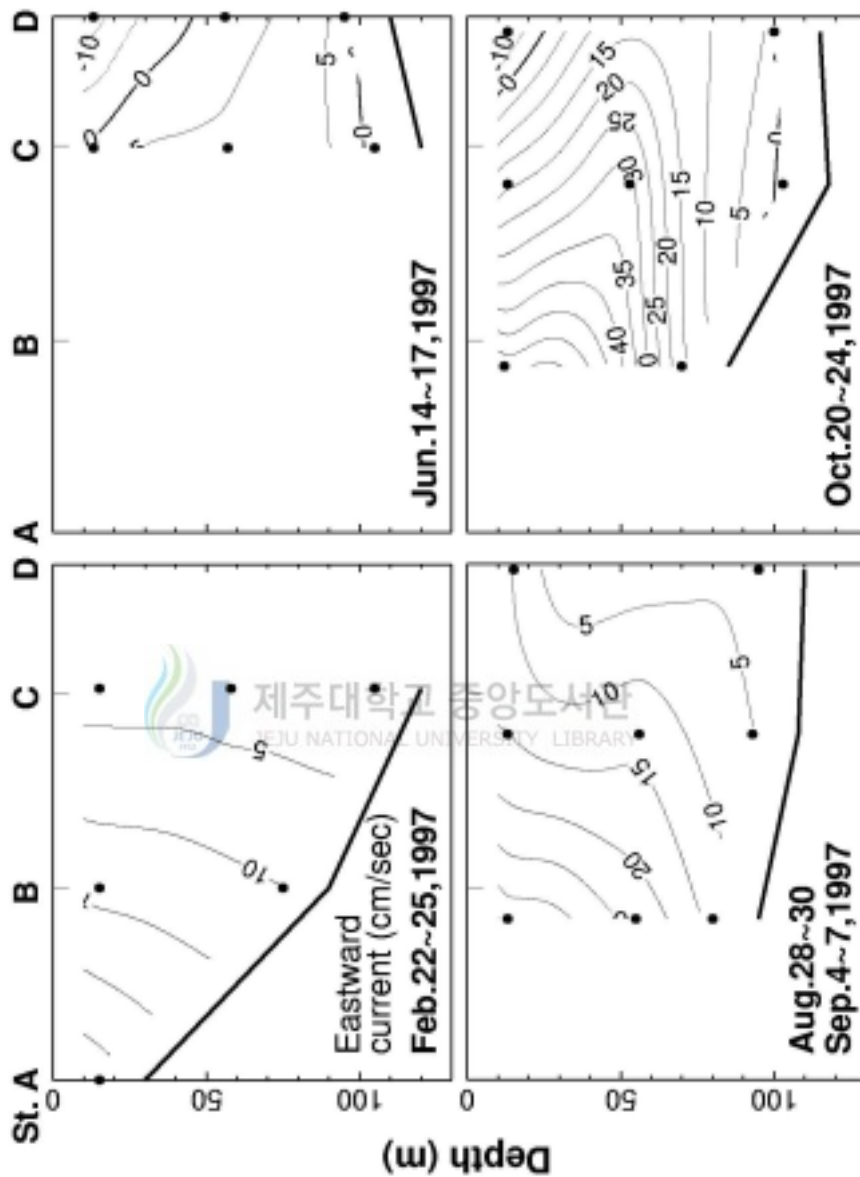


Fig.10. Vertical profiles of eastward current speed measured with current meter in the eastern Cheju Strait in 1997. Positive values(solid line) are into the paper(eastward).

Table 4. Mean current measured with current meter in the eastern Cheju Strait in 1997.

Station name	Mooring period (hour)	Mooring layer (depth)	Mean current			Direction (°)	Ratio (E/N)
			Speed (cm/sec)				
			Eastward	Northward	Total		
A	Feb.24~25 (38.8)	Surface (15m)	27.6	-1.7	27.7	94	16.2
B	Feb.23~24 (26.2)	Surface (15m)	13.7	-1.0	13.7	94	13.7
		Bottom (75m)	10.1	2.4	10.4	77	4.2
	Aug.29~30 (23.8)	Surface (13m)	34.9	-8.6	35.9	104	4.1
		Middle (55m)	24.3	7.1	25.3	74	3.4
		Bottom (80m)	14.3	4.3	14.9	73	3.3
	Oct.23~24 (22.3)	Surface (12m)	54.1	-9.8	55.0	100	5.5
Bottom (70m)		15.0	8.1	17.0	62	1.9	
C	Feb.22~23 (25.8)	Surface (15m)	3.1	-3.7	4.8	140	0.8
		Middle (58m)	2.5	-2.2	3.3	131	1.1
		Bottom (105m)	0.2	-2.7	2.7	176	0.1
	Jun.16~17 (25.2)	Surface (13m)	1.0	6.3	6.4	9	0.2
		Middle (57m)	6.2	0.4	6.2	86	15.5
		Bottom (105m)	-1.8	5.0	5.3	340	0.4

Table 4. Continue.

Station name	Mooring period (hour)	Mooring layer (depth)	Mean current			Direction (°)	Ratio (E/N)
			Speed (cm/sec)				
			Eastward	Northward	Total		
C	Aug.28~29 (26.3)	Surface (13m)	15.1	5.5	16.1	70	2.7
		Middle (56m)	13.5	2.3	13.7	80	5.9
		Bottom (93m)	5.2	8.8	10.2	31	0.6
	Oct.20~21 (28.2)	Surface (13m)	19.2	-1.7	16.3	95	11.3
		Middle (53m)	31.3	-6.4	31.9	102	4.9
		Bottom (103m)	-1.6	11.3	11.4	352	0.1
D	Jun.16~17 (45.7)	Surface (13m)	-11.8	11.9	16.8	315	1.0
		Middle (56m)	3.1	-0.1	3.1	92	31.0
		Bottom (95m)	3.1	-3.0	4.3	134	1.0
	Sep.4~7 (67.5)	Surface (20m)	10.0	10.3	14.4	44	1.0
		Bottom (95m)	1.8	1.3	2.2	54	1.4
	Oct.22~23 (25.3)	Surface (13m)	-9.5	0.5	9.5	273	19.0
Bottom (100m)		3.1	1.2	3.3	69	2.6	
Average			10.7	1.7	10.8	81	6.3

3. 지형류와 해류자료의 비교

지형류가 제주해협을 실제해류를 어느 정도 나타내는지 알아보기 위하여 Fig.11처럼 지형류와 관측된 해류자료를 비교하였다. 부이의 유속은 지형류보다 평균 1.3배 큰 반면, 해류계의 유속은 지형류와 비슷하였고, 해협 동부의 유속 단면분포(Fig.7, 10)에서도 비슷한 결과를 보였다. 그러므로 지형류가 제주해협에서 실제 유속에 매우 가깝다는 것을 알 수 있다.

그러나 8월에는 지형류가 제주해협 양 연안에서는 서류를 보였지만 해류자료에서는 서류가 나타나지 않았다. 8월의 지형류가 해류자료와 다르게 나타나는 이유는 다음 장에서 설명된다.

IV. 유량의 계절변화와 그 원인

1. 제주해협 유량의 계절변화

Fig. 12는 지형류로 계산된 제주해협의 월별유량을 나타낸 그림이다. 제주해협의 전체유량은 막대그래프로, 동류에 의해 수송되는 유량은 “T”로 나타내었고, 해류계 자료로 계산된 유량은 점선으로 표시하였다.

제주해협 4개의 단면에서 평균한 지형류의 유량은 겨울철에 약 0.1Sv, 여름철에 약 0.4Sv으로 증가하였고, 4개의 단면 중 최대값은 0.5Sv이었다. 그러나 지형류는 무류면에서부터 유속을 계산하였기 때문에 표층부터 저층까지의 움직임이 같은 순압류(barotropic current)를 포함하지 못한다.

제주해협의 순압류를 알아보기 위하여 해협 중앙에서 장기간 관측한 해류자료를 보면, 수심 100m이하의 저층에서는 계절에 관계없이 약 5cm/sec의 흐름

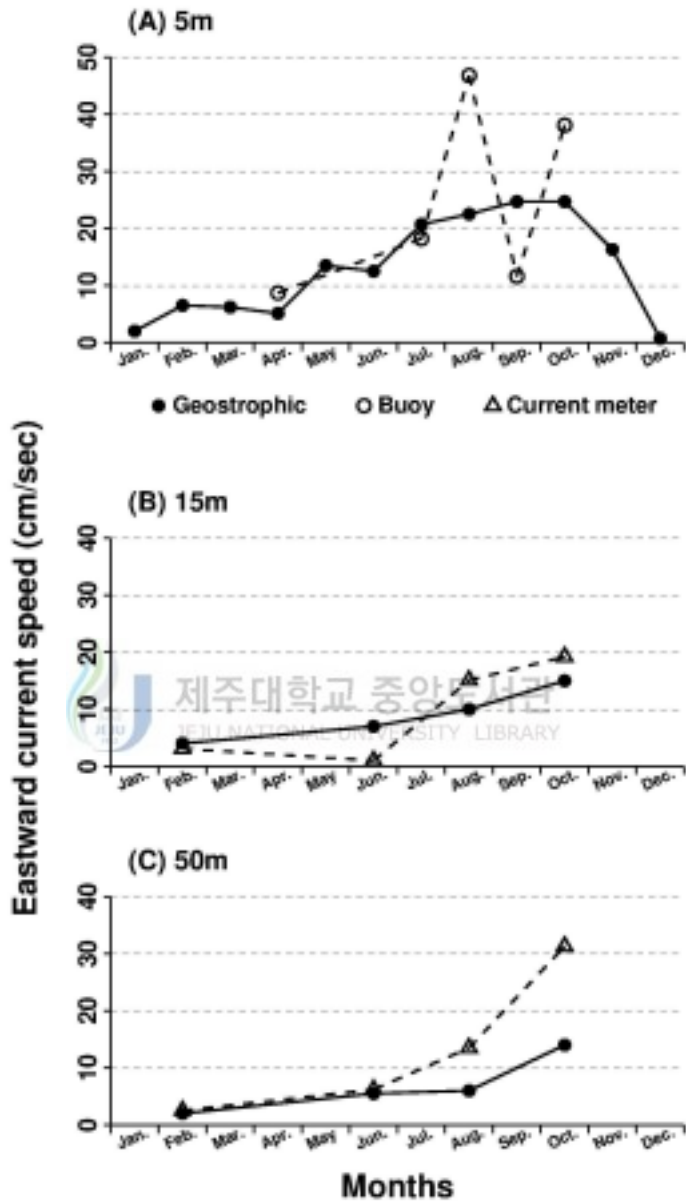


Fig.11. Comparisons of geostrophic current(●) with the currents measured with TGPS buoy(○) and current meter(△) in the Cheju Strait.

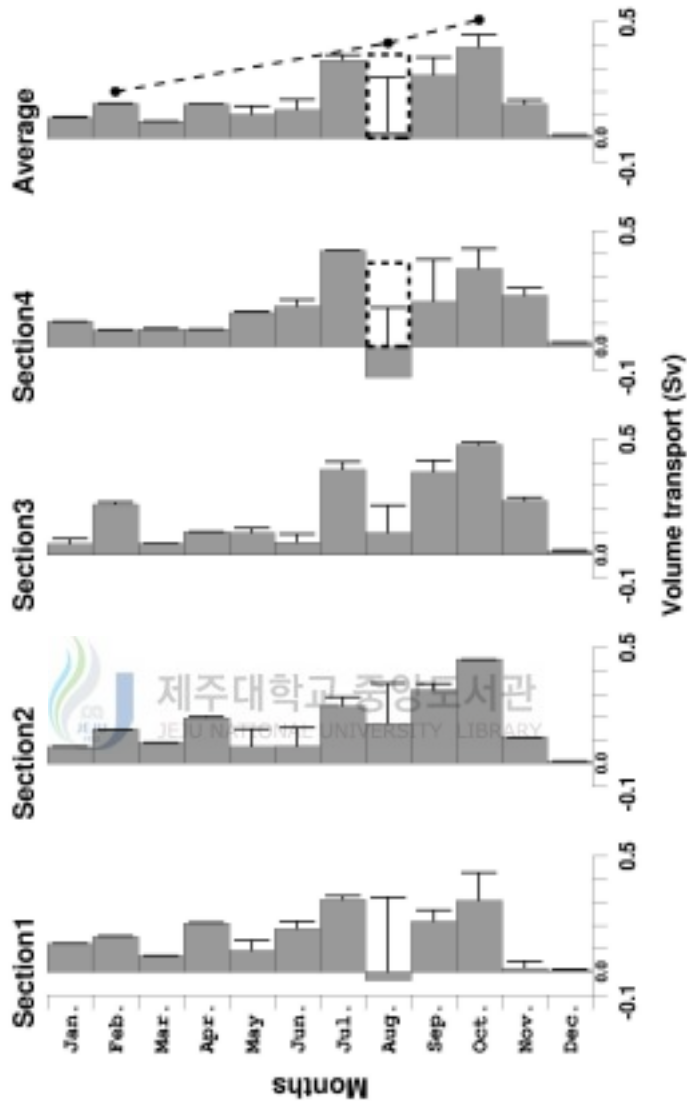


Fig.12. Monthly volume transports through the Cheju Strait calculated by geostrophic current and directly measured current(dashed line). Positive number indicates the eastward. Dashed stick is geostrophic volume transport in Section4 in August 25~28, 1997. (* 1Sv = $10^6\text{m}^3/\text{sec}$)

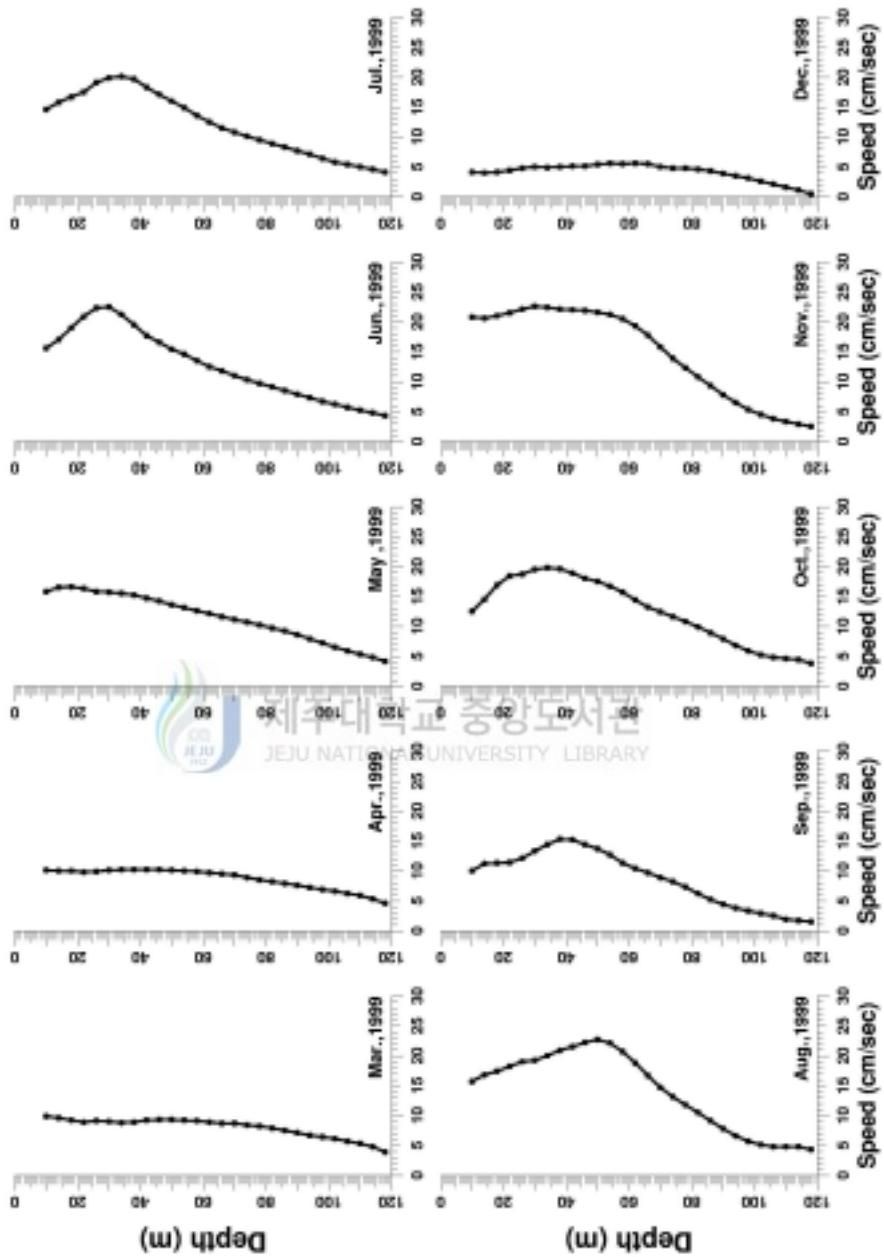


Fig.13. Monthly mean vertical profiles of eastward current speed measured with ADCP in the central Cheju Strait from March and December 1999.

이 존재하는 것을 알 수 있다(Fig.13). 이 흐름을 제주해협 순압류로 생각하면, 해협의 폭이 80km이고 평균수심이 약 50m라 할 때, 약 0.2Sv정도가 순압류에 의해서 수송량이 된다. 따라서 순압류를 포함한 제주해협의 유량은 겨울철에 0.3Sv이고, 여름철에 0.6Sv(최대 0.7Sv)로 나타났다.

해류계의 평균유속으로 계산한 제주해협의 유량은 2월에 0.2Sv, 8월에 0.4Sv, 10월에 0.5Sv으로 나타났다(Fig.12). 6월을 제외하면 3회(2, 8, 10월)의 해류계 관측이 이루어졌으나 제주해협 동부단면(Section4) 전체에 대해서는 이루어지지 못하였다. 따라서 제주해협 전체단면(Section4)을 기준으로 각각 45%, 60%, 60%에 해당하는 단면에 대해서만 관측되었으므로 이것을 제주해협 전체단면으로 감안한다면 2월에 0.4Sv, 8월에 0.7Sv, 10월에 0.8Sv으로 나타났다. 그러나 이것은 제주해협의 전체유량이라고 볼 수는 없으며 추정치일 뿐이다.

그러므로, 제주해협의 유량은 약 0.3Sv의 계절변화를 보였다. 여기서 해류자료에 의한 유량을 감안한다면 제주해협의 유량은 약 0.3~0.4Sv의 계절변동폭을 갖는다고 볼 수 있다.

제주해협 유량의 결과는 기존에 관측된 것들과 비슷하였고(Table 5), 그 계절변화는 Pang and Oh(1994)가 해수면자료를 가지고 분석한 결과와 일치하였다.

2. 바람이 제주해협에 미치는 영향

지형류에 의한 8월의 유량은 거의 '0(zero)'에 가까웠는데(Fig.12), 이것은 제주해협의 양 연안에서 강한 서류가 발생하였기 때문이다(Fig.7). 그러나 해류계의 결과에서는 그렇지 않았다(Fig.10). 지형류와 해류계 자료에는 7일 정도의 시간차가 있고, Fig.14는 이 기간동안(1997년 8월 21~28일)에 제주해협 동부를 3회 관측한 수온·염분과 이것을 가지고 계산한 지형류의 유속을 나타낸

Table 5. Observed and geostrophically calculated volume transport through the Cheju Strait.

Observation Period		Volume transport(Sv)		Method	Observation section	Reference
		Geostrophically calculated	Directly observed			
Mar.	22 ~ 25,1997	0.15	0.45	ADCP	Cheju Is. ~ Jin Is.	KORDI(1997)
Apr.	26 ~ 27,1995	0.16	0.37	ADCP	Cheju Is. ~ Bogil Is.	Suk et al. (1996)
Aug.	16 ~ 18,1986	0.03 (Eastward:0.11)	0.38	Current meter	Cheju Is. ~ Chuja Is.	Kim(1987)
	05 ~ 06,1999	0.29	0.66	ADCP	Cheju Is. ~ Bogil Is.	KORDI(1999)
Sep.	29 ~ 30,1997	0.17	0.58	ADCP	Cheju Is. ~ Bogil Is.	KORDI(1997)
	25 ~ 26,1998	0.15	0.51	ADCP	Cheju Is. ~ Bogil Is.	KORDI(1998)
Nov.	25 ~ 26,1998	0.26	0.46	ADCP	Cheju Is. ~ Bogil Is.	KORDI(1998)

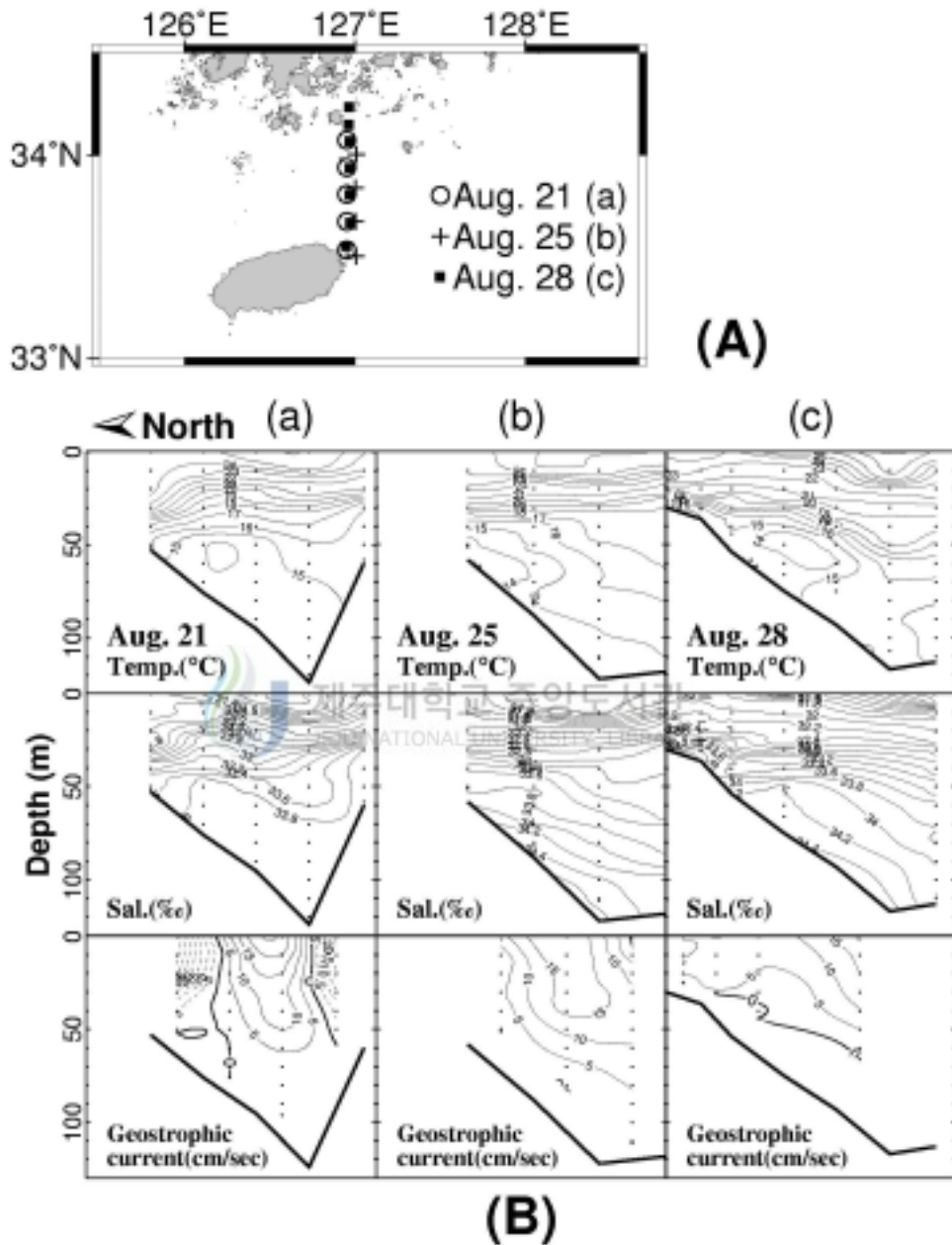


Fig.14. Station map (A) and vertical profiles (B) of temperature, salinity and geostrophic current in August 21~28, 1997.

수직단면도이다. 관측하는 동안 약층의 변화가 제주해협 북부에서는 알아지고 해협 남부에서는 깊어지는 것을 볼 수 있었고, 지형류의 유속에서는 서류가 나타나지 않았다. 이 때의 지형류로 구한 유량은 약 0.36Sv으로 여름철의 유량과 비슷하였다(Fig.12). 그렇다면 과연 어떠한 요인이 짧은 시간 동안에 제주해협의 해류와 해수분포의 변화를 일으키고 유량을 감소시킨 것인가?

서류가 나타나기 2~3일 전부터 약 4일동안 고산과 흑산도에서는 10m/sec 이상의 강한 남동풍이 지속적으로 발생하였다(Fig.15). 이 바람에 의해 제주해협의 해류와 해수분포가 동시에 변화되었다. 제주해협 양 연안의 해수는 바람을 따라 서쪽으로 이동되는 것을 지형류로 확인할 수 있으며, 해협 중앙의 저층에서는 황해냉수가 유입되면서 해수분포의 변화를 일으켰다.

여기서 황해냉수가 바람방향을 거슬러 제주해협에 직접 유입한 사실에 주목할 필요가 있다. 이러한 현상은 두 가지로 생각될 수 있다. 첫째, 제주해협 연안에서 바람을 따라 서류가 나타나는 것처럼 남서해(흑산도)에서도 북상하는 흐름이 발생할 것이고, 동시에 황해 중앙의 해수를 남쪽으로 밀어낼 것이다. 둘째, 남동풍은 황해 중앙의 표층수를 중국대륙 쪽으로 이동시키므로 제주도 방면으로 향하는 압력장(pressure field)이 형성되어 남하하는 황해냉수는 동중국해 방면으로 확장되는데, 바람이 강할수록 제주도 방면으로 향하는 압력이 강해지므로 냉수의 남하는 더욱 가속되고 그러한 과정에서 제주해협으로 유입된 것으로 생각된다. 한편 바람이 약화되면 압력장이 완화되므로 Fig.16에서는 황해냉수가 제주도 서부해역으로 후퇴한 것을 확인할 수 있다.

3. 제주해협 유량의 계절변화 원인

제주해협을 통과하는 해수량이 여름철에 증가하는 원인을 양자강연안수와 황해저층냉수의 유입만으로 설명하기에는 부족하다. 양자강수의 여름철 최대 유출량은 약 0.05Sv이며(Yang et al., 1983), 황해저층냉수의 유입량은 매우 작

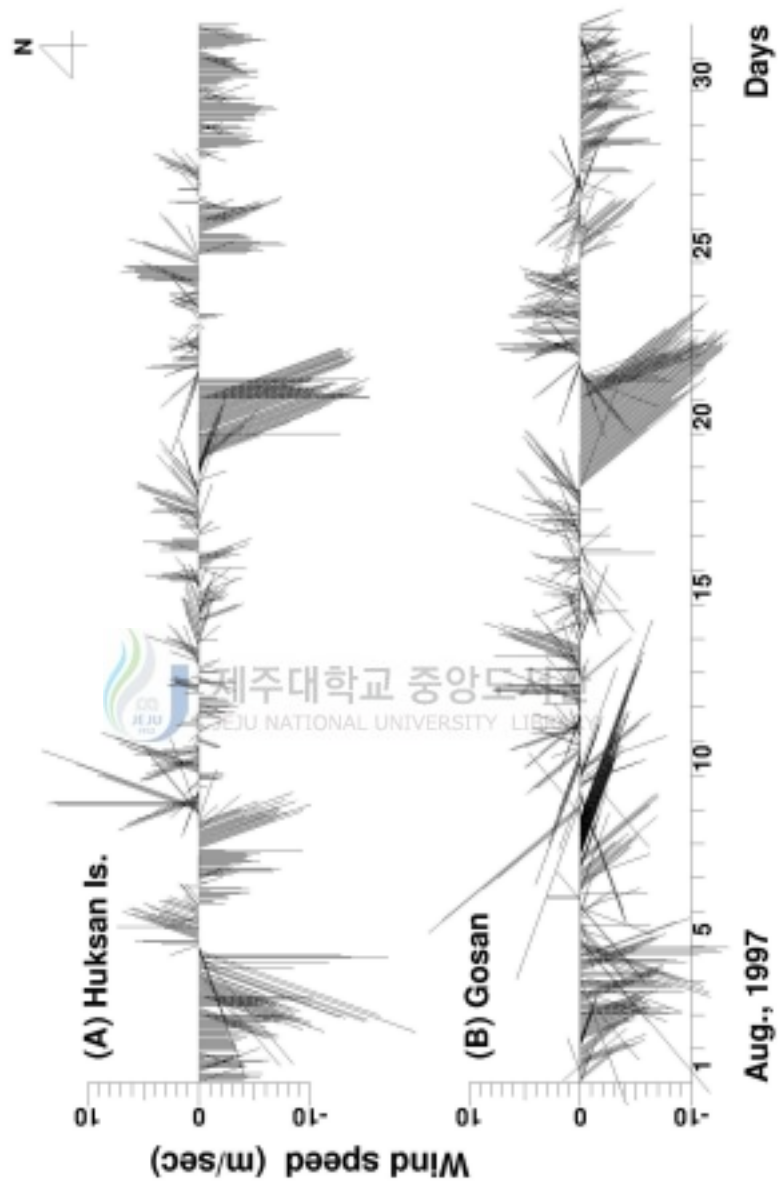


Fig.15. Wind vectors at Huksan Island (A) and Gosan (B) in August 1997. Strong southeast winds lasted about 3 days just before the observation.

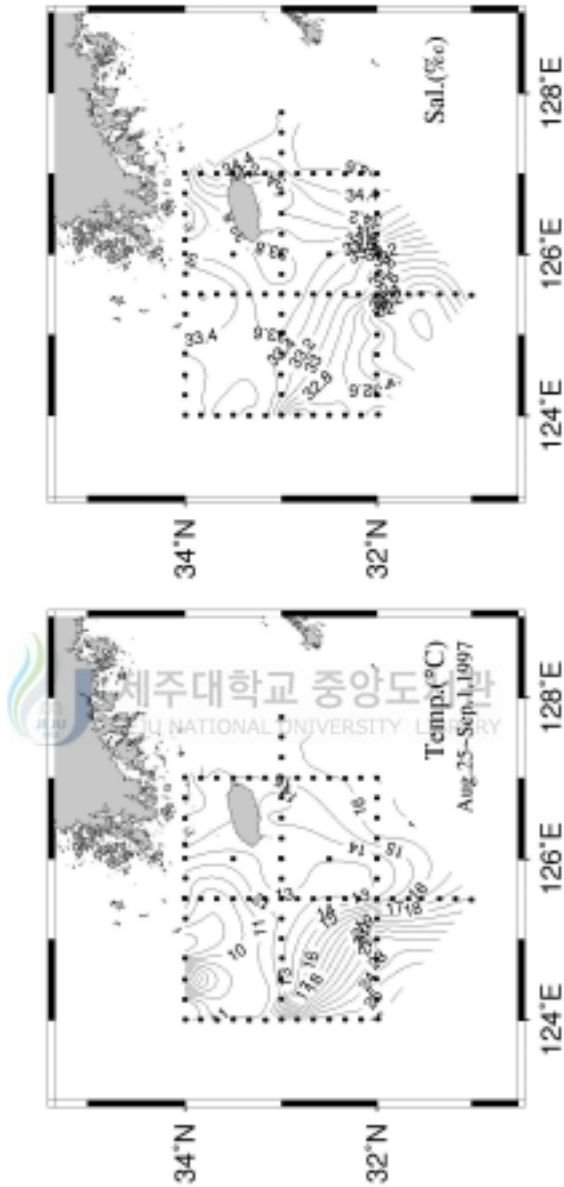


Fig.16. Horizontal distributions of temperature and salinity at bottom in the western sea of Cheju Island in August 25~ September 1, 1997.

다. 그 외에 강수량이나 육지에서 바다로 흘러드는 유입량으로도 여름철 유량 증가는 설명되지 않는다.

제주해협 해류는 계절에 관계없이 5cm/sec의 순압성분이 동쪽으로 흐르는 반면에 경압성분이 여름철에 증가하였고, 이것이 더해져서 유속이 강화되었다(Fig.13). 여름철 경압성분의 증가는 해수분포에 따른 것이다. 약층이 제주해협 남부에서 깊어지는 여름철 분포는 제주해협 북부와 남부사이의 역학고도 편차(dynamic height anomaly)를 증가시켰고 따라서 해류가 강화되었다. 이러한 여름철 해수의 수직분포는 양자강연안수에 의한 강한 성층과 난류수가 제주도 동부로 위축되는 과정에서 나타난 해협 서부의 저온수와 해협 동부의 고염수가 해협 북부에 치우쳐 분포하기 때문이다.

제주해협에서 이러한 해수분포를 보이는 것은 황해와 동중국해 계절순환에 의한 것이다. 겨울철에 황해중앙부로 확장된 대마난류수는 여름철에 동중국해 방면으로 남하하는 황해냉수에 의해 제주도 동부해역으로 축소된다. 이러한 과정에서 제주해협은 난류수와 황해냉수가 만나는 전선역에 해당되는데 그 결과 제주해협 유량이 증가되는 것으로 생각할 수 있다.

V. 결 론

제주해협 해수특성과 분포는 크게 세 가지 계절변화를 보였다. 첫째, 제주해협은 겨울철에 대마난류수의 지배적인 영향을 받지만 여름철에는 양자강연안수와 황해냉수 등의 연안수 영향이 강하게 나타났다. 둘째, 겨울철에는 해협서부가 보다 고온고염인 반면에 여름철에는 해협동부가 보다 고온고염이었다. 이것은 대마난류수가 겨울철에 황해방면으로 확장하면서 제주해협 서부로 유입하고 동쪽으로 흐르면서 제주해협에 전반적인 영향을 미치지만 여름철

에는 연안수가 제주해협 서부로 확장하고 난류수는 해협 남부로 위축되어 해협 동부를 따라 북상하기 때문이다. 셋째, 겨울철에는 수직적으로 균질한 분포를 보이는 반면에 여름철에 양자강연안수가 유입하여 나타나는 강한 성층은 해협 북부에서는 얇게 해협 남부에서는 깊게 형성되었다.

이러한 해수분포의 계절변화는 제주해협의 해류를 변화시켰다. 지형류를 계산한 결과 대부분 동류가 나타났고 겨울철에서 여름철로 갈수록 유속이 강해졌다. 지형류가 제주해협의 실제 해류를 어느 정도 나타내는지 알아보기 위하여 해류자료와 비교해 보면, 부이의 유속은 해협 중앙의 지형류보다 평균 1.3배 큰 반면, 해류계 유속은 지형류와 비슷하였다. 따라서 지형류가 제주해협의 해류를 비교적 잘 반영한다고 볼 수 있다.

지형류에 의한 제주해협의 유량은 겨울철에 약 0.1Sv, 여름철(가을철)에 약 0.4Sv(최고 0.5Sv)으로 증가하였다. 장기간에 걸친 해류관측에서 순압류의 유속은 약 5cm/sec였고, 순압류에 의한 유량은 약 0.2Sv이었다. 따라서 순압류를 포함한 지형류의 유량은 겨울철에 0.3Sv, 여름철에 0.6Sv(최고 0.7Sv)으로 나타났다. 그리고 해류계 자료에 의해 계산된 제주해협의 유량은 겨울철에 약 0.2Sv, 여름철에 약 0.5Sv으로 나타났다. 그런데 해류계 관측은 제주해협의 전체 단면에 대해 이루어진 것이 아니므로 전체 단면으로 감안하면, 겨울철에 약 0.4Sv, 여름철에 약 0.8Sv으로 추정할 수 있다. 따라서 지형류로 계산된 제주해협의 유량은 0.3Sv의 계절변화를 보였고, 해류계 자료에 의해 계산된 유량을 보완하면 0.3~0.4Sv의 계절변동폭을 갖는다고 볼 수 있다.

제주해협의 유량이 여름철에 증가하는 이유는 순압성분을 계절에 관계없이 약 5cm/sec로 일정한데 경압성분은 여름철에 증가하기 때문이다. 약층이 해협 남부가 북부보다 깊게 나타나는 여름철 해수분포는 제주해협 북부와 남부사이의 역학고도 차를 증가시켰다. 이러한 여름철 해수분포는 겨울철에 황해중앙부로 확장된 대마난류수가 여름철에 남하하는 황해냉수에 의해 동중국해 방면으로 후퇴하여 제주도 동부해역으로 축소되는데, 이러한 과정에서 제주해협은

난류수와 황해냉수가 만나는 전선역에 해당되므로 제주해협이 해류가 강해지고 유량이 증가한 것이다.

바람이 제주해협에서 해류와 해수분포를 변화시킨 것을 관찰할 수 있었는데, 여름철에 2-3일 지속되는 강한(10m/sec이상) 남동풍이 제주해협의 양 연안에 강한 서류를 발생시켜 유량을 감소시킨 것을 지형류로 확인할 수 있었다. 또한 바람의 강약에 의해 동중국해 방면으로 남하하던 황해저층냉수가 제주해협 서부로 직접 유입되거나 제주도 서부해역으로 후퇴하는 것을 해수분포로 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- Asaoka, O. and S. Moriyasu, 1966. On the Circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in Winter (Preliminary Report), *Oceanogr. Mag.*, 18(1-2), 73-81.
- Beardsley R. C. and R. Limeburner, 1983. Structure of the Changjiang River Plume in the East China Sea during June 1980: Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, *Acta, editor, Oceanologica Sinica. China Ocean Press, Beijing*, 243-260.
- Byun, S. K. and K. I. Chang, 1988. Tsushima Current Water at Entrance of the Korea Strait in Autumn, *Prog. Oceanog.*, 21, 295-296.
- Chang, K. I., M. S. Suk, I. C. Pang and W. J. Teague, 2000. Observations of the Cheju Current, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 35(3), 129-152.
- Kim, K., H. K. Rho and S. H. Lee, 1991. Water Masses and Circulation around Cheju-Do in Summer, *J. Oceanog. Soc. Korea*, 26(3), 262-277.
- Kim, I. O., 1986. A study on the coastal water of the China Continental appeared in the neighbouring seas of Cheju Island, M.S.Thesis, Cheju National Univ., 1-2.
- Kim, S. H., 1987. A study on the current in the Cheju Strait, M. S. Thesis, Cheju National University, 1-59.
- KORDI, 1997. Transport and Biogeochemical Processes in the Cheju Strait, KORDI Report BSPE 97612, 51-177.
- KORDI, 1998. Transport and Biogeochemical Processes in the Cheju Strait, KORDI Report BSPE 98706-00-1139-4, 67-149.
- Lie, H. J., 1984. A Note on Water Masses and General Circulation in the Yellow Sea (Hwanghae), *J. Oceanog. Soc., Korea*, 19, 187-194.

- Lie, H. J., C. H. Cho, J. H. Lee, S. Lee and Y. Tang, 2000. Seasonal Variation of the Cheju Warm Current in the Northern East China Sea, *J. Oceanogr.*, 56, 197-211.
- Nakao, T., 1977. Oceanic Variability in relation to Fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea, *J. Fac. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ. Spec.*, No. Nov., 199-366.
- Pang, I. C., H. K. Rho and T. H. Kim, 1992. Seasonal Variations of Water Mass Distributions and their Cause in the Yellow Sea, the East Cina Sea and the adjacent Seas of Cheju Island, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25(2), 151-163.
- Pang, I. C. and I. M. Oh, 1994. Long-Period Sea Level Variations around Korea, Japan, and Russia, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27(6), 733-753.
- 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. Oceanol. Soc. Korea*, 33(3), 41-52.
- Pang, I. C., K. H. Hyun and H. K. Rho, 1999. Preliminary Study on Abnormally Low Salinity Waters around Cheju Island in Summer, *Proc. 2nd Internat. Workshop on Oceanography and Fisheries in the East China Sea, Nagasaki, Nov. 1999*, 91-102.
- Pang, I. C. and K. H. Oh, 2000. A Seasonal Circulation in the East China Sea and the Yellow Sea and its Possible Cause, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 35(4), 161-169.
- Park, Y. H., 1985. Some Important Summer Oceanographic Phenomena in the East China Sea, *J. Oceanog. Soc. Korea*, 20, 12-21.
- Park, Y. H., 1986. A Simple Theoretical Model for the Up-wind flow in the southern Yellow Sea, *J. Oceanog. Soc. Korea*, 21, 203-210.
- Suk, M. S., G. H. Hong, C. S. Chung, K. I. Chang and D. J. Kang, 1996.

- Distribution and Transport of Suspended Particulate Matter, Dissolved Oxygen and Major Inorganic Nutrients in the Cheju Strait, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 31(2), 55-63.
- Uda M., 1934. The Results of Simultaneous Oceanographical Investigations in the Japan Sea and its adjacent Waters in May and June, 1932. *J. Imp. Fisher. Exp. St.*, 5, 57-190.
- Unesco. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, by N.P. Fofonoff and R.C. Millard Jr. Tech. Pap. mar. sci., 44, 15-21.
- Unesco. 1991. Processing of oceanographic station data, by JPOTS editorial panel. 107pp, 110pp.
- Yang Z. S., J. D. Milliman and M. G. Fitzgerald, 1983. Transfer of water and sediment from the Yangtze River to the East China Sea, June, 1980, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 72~82.
- Youn, Y. H., Y. H. Park, and J. H. Bong, 1991. Enlightenment of the Characteristics of the Yellow Sea Bottom Cold Water and its southward Extension, *J. Korean Earth Science Society*, Vol. 12(1), 25-37.
- Yu, H., D. Zheng, and J. Jiang, 1983. Basic Hydrographic Characteristics of the Studied Area. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, *Acta, editor, Oceanologica Sinica. China Ocean Press, Beijing*, 270-279.
- Zhao, J., R. Qiao, R. Dong, J. Zhang, and S. Yu, 1983. An Analysis of Current Conditions in the Investigation Area of the East China Sea: Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, *Acta, editor, Oceanologica Sinica. China Ocean Press, Beijing*, 288-301.

제주해협 의 해수분포와 유량의 계절변화

요 약

제주해협 의 해수분포와 유량의 월별변화를 1995년 9월부터 1998년 6월 사이에 관측된 수온·염분·해류 자료로 분석해 본 결과는 다음과 같다.

제주해협에서는 겨울철에 제주해협 서부가 보다 고온고염인 반면 여름철에는 해협 동부가 보다 고온고염이었다. 이것은 겨울철에는 황해 쪽으로 확장하는 대마난류수가 제주해협 서부로 유입하여 동부로 흐르는데 반해 여름철에는 황해냉수가 동중국해 쪽으로 확장하여 제주도 동부해역으로 축소되는 대마난류수가 제주도 동남부에서 제주해협 동부로 북상하여 흐르기 때문에 나타나는 현상이다. 여름철의 성층은 양자강연안수가 제주해협으로 유입되면서 강화되었고 해협 북부보다 남부에서 약층이 깊게 나타났다. 이러한 수직구조는 제주해협 해류의 경압성분을 증가시켰다.

제주해협 의 해류는 계절에 관계없이 약 5cm/sec 정도의 동류가 존재하며 여름철에는 여기에 해수분포에 따른 경압성분이 더해져 유속이 강화되었다. 지형류는 해류자료와 비교한 결과 제주해협 해류의 계절변화를 잘 나타내고 있었다. 지형류로 계산한 제주해협 의 유량은 겨울철에 약 0.1Sv에서 여름철에 약 0.4Sv으로 증가하였다. 여기에 순압류에 의한 유량 약 0.2Sv을 포함하면, 전체 제주해협 의 유량은 겨울철에 약 0.3Sv이고 여름철에 약 0.6Sv이다. 지형류로 계산한 유량의 계절변화는 약 0.3Sv이며 해류계에 의해 관측된 유량을 보완하면 약 0.3~0.4Sv의 계절변동폭을 갖는다고 볼 수 있다.

바람이 제주해협에서 해류와 해수분포를 변화시킨 것을 관찰할 수 있었는데, 여름철에 2-3일 지속되는 강한(10m/sec이상) 남동풍이 제주해협 의 양 연안에 강한 서류를 발생시켜 유량을 거의 '0'으로 감소시킨 것을 지형류로 확인할 수 있었다.

주요어 : 제주해협, 해수분포, 지형류, 유량, 바람

감사의 글

처음에 마음먹은 것과는 달리 마무리하는 단계에 있는 지금에서는 끝냈구나 하는 안도감보다는 아쉬움과 표현할 수 없는 허전함이 드는 것은 여러 많은 분들의 도움에도 불구하고 그에 대한 보답과 결과를 내지 못해서 그런게 아닌가 하는 생각이 듭니다.

부족한 저에게 이나마 작은 결실을 얻도록 해주신.., 깊은 학문의 가르침은 물론이고 정리되지 않은 생각들로 삶을 어려워하는 저에게 언제나 삶의 가치에 대해 깨우쳐 주신 방익찬 지도교수님께 감사의 말씀과 그 수많은 가르침에도 불구하고 뭐하나 제대로 하지 못하는 죄송스러움도 함께 올립니다. 연구실에서 오랜 시간동안 실수투성인 제 옆에서 변함없는 관심과 도움을 주는 경희 누나와 지금은 옆에 없지만 비록 작은 것이나마 배우는 즐거움과 그것을 소중히 하는 생각을 갖게 해준 경훈이형에게 고마운 마음을 전합니다.

바쁘신 와중에도 논문심사를 위해 애써 주셨던 고유봉 교수님과 윤정수 교수님, 그리고 많이 부족한 논문이지만 관심과 조언을 아끼지 않으셨던 최영찬, 이준백, 윤석훈 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 그리고, 아는 것 없이 해양 관측을 했던 학부시절부터 많은 도움을 주었던 준택, 영진이형과 제주해협 관측을 지도하셨던 노홍길 교수님 그리고 아라호, 한라호 선원분들께도 감사드립니다. 또한 이 후배의 부탁으로 바쁘지만 아무 불평없이 기상자료를 제공해주신 이찬구 사무관님, 문재인, 김태희 선배님 그리고 유종인 선생님께 감사의 마음을 전합니다.

과중한 과 업무에도 불구하고 저의 편의를 봐주시는 고윤영, 신범 조교선생님과 자신의 일도 바쁘게도 관심과 도움을 아끼지 않는 좌종현, 윤충환, 이승종, 고진필, 이무형, 강지형, 이승철, 김동현 선배님을 비롯한 그 밖의 대학원 선배님들께 고마움을 전하며, 영원한 내 친구 원호, 명호, 권철웅과 병섭에게도 고맙다는 말을 하고 싶습니다. 그리고 비록 멀리에 있지만 내가 좌절할 때마다 항상 힘을 북돋워 주었던 혜림에게 사랑한다고 전하고 싶습니다.

마지막으로 언제나 저의 든든한 후원자인 아버지, 어머니께 감사의 마음과 함께 사랑한다는 말을 올립니다. 비록 작은 결실이지만 이 논문이 요즘 부모님의 어깨에 짊어진 부담을 조금이나마 덜어드리는 구실을 했으면 하는 바람입니다.