

제주해협의 해류와 월별 유량변화

노홍길·방익찬*·김상현·현경훈*·김준택·양영진·홍창수*

제주대학교 어업학과, *제주대학교 해양학과

Currents and monthly variations of volume transports in the Straits of Cheju

Hong-Kil Rho, Ig-Chan Pang*, Sang-Hyun Kim, Kyung-Hoon Hyun*,
Jun-Teck Kim, Young-Jin Yang and Chang-Su Hong*

Department of Fisheries, Cheju National University, Cheju-Do 690-756, Korea

**Department of Oceanography, Cheju National University, Cheju-Do 690-756, Korea*

Currents are measured in the Straits of Cheju by detecting surface buoy tracks and mooring current meters in 1996~1997. As a result, north-eastward currents are detected in the Straits of Cheju all the year round, which is weak in spring and strong in summer and fall. Average speeds of 20 cm/s to the east, 7 cm/s to the north and 22 cm/s to the north-east appeared in the surface. Currents are fast in the middle of the strait and slow near Cheju Island. East-west components of the currents are about 3 times faster than the north-south ones. Also, it is shown that surface buoys released within the distance of 6 miles away from Cheju do not drift out of the Straits of Cheju because of tongue-like warm waters appeared in the eastern entrance of the strait. Volume transports calculated by geostrophic calculation are shown to be 0.05-0.2 Sv in winter and 0.4-0.5 Sv in summer.

Key words : Currents, Volume transports, the Straits of Cheju, geostrophic calculation

서론

제주해협은 황해와 한국남해를 연결하는 해협으로서 이 해역의 해류나 유량변화는 한국 남해 및 동해의 해황에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 이 해협내에서는 여러 어종들을 대상으로 하는 각종 어장이 주년 형성되고 있어 우리나라 연근해 어업을 대표할만한 선망, 안강망, 유자망 어선들은 물론 제주도의 어선어업의 중요 조업장이 되고 있으므로 수산업적으로도 매우 중요한 환경요인이 된다. 또 제주해협의 유황(流況)은 해상교통이

나 오염물질의 확산문제, 어류의 회유, 난치자 수송문제와도 깊은 관련을 갖고 있으며 제주도의 일상생활이나 문화에도 깊은 영향을 주고 있다. 이처럼 제주해협의 해류나 유량변화는 매우 중요한 환경요인인데도 불구하고 직접 측류(測流)가 어렵다는 연구상의 난점 때문에 그 연구가 활발히 진행되지 않다가 최근 해류계의 발달과 더불어 Kim(1979), Chang(1984), Chang et al.(1995), Suk et al.(1996)의 직접 측류에 의한 연구를 비롯하여 Kim(1995), Kim and Rho(1997)에 의해 제주해협의 해수유동에 대한 광범위한 연구가 이루어진 바 있다. Chang et al.(1995)은 1983년 4~

5월에 부표추적과 해류계 관측을 통하여 봄철 10cm/sec 내외의 쿠로시오의 지류가 서쪽에서 동쪽으로 흘러간다고 하였다. Suk et al.(1996)은 1995년 4월 하순에 ADCP를 이용하여 유속을 측정하였는데 유속이 빠른 곳은 10~20cm/sec정도라고 하였고 보길도와 제주를 잇는 선을 통해 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 체적수송량은 0.3 Sv이라고 하였다. Kim and Rho(1997)는 1986~1989년사이 제주해협내의 17개정점에서 해류계에 의한 직접 측류(測流)를 통해 10m층에서는 5.2~30cm/sec, 중·저층에서는 1.3~24cm/sec의 항류가 동~북동쪽으로 흐른다고 하였다. 이 논문에서는 1995~1997년 사이에 제주해협에서 표층부표추적과 해류계 관측을 통해 측정된 해류자료와 매일 관측된 수온염분자료를 이용하여 제주해협의 해류와 유량의 월별 변화를 살펴보았다.

자료 및 방법

표층해류관측을 위한 TGPS부이 추적은 1996년에

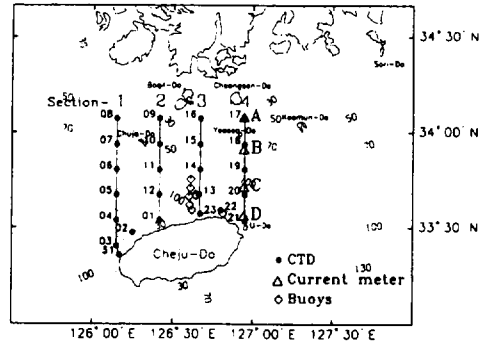


Fig. 1. Hydrographic stations in the Straits of Cheju

1회, 1997년에 5회에 걸쳐 8개의 부이를 투하하여 그 궤적을 추적하였다. Fig. 1에 TGPS부이 투하지점이 나타나 있고 Table 1에는 투하지점 및 회수지점과 이동거리 및 이동시간이 정리되어 있다.

해류계의 계류에 의한 유속측정은 Fig. 1의 A, B, C, D정점에서 표층, 중층, 저층에서 이루어졌다. 해류계의 계류위치와 계류기간은 Table 3에

Table 1. Positions and time of release and collection of TGPS buoys in the Straits of Cheju in 1997 except Case No. 2 in 1996. Meridional line of 126° 57.0' E is assumed to be the east boundary line of the Straits of Cheju in this paper.

Case No.	Release			Collection			Arrival at 126° 57.0' E	
	Time	Position		Time	Position		Time	Lat.(N)
		Lat.(N)	Lon.(E)		Lat.(N)	Lon.(E)		
1	Apr. 28 17:00	33° 40.3'	126° 38.0'	May 3 12:33	33° 47.2'	127° 10.2'	May 1 13:39	33° 41.8'
2	May 31 07:31	33° 34.5'	126° 48.8'	Jun. 2 08:57	33° 30.0'	126° 58.9'	Jun. 2 01:52	33° 31.9'
3	Jul. 10 12:24	33° 40.0'	126° 38.8'	Jul. 12 05:31	33° 37.0'	126° 58.4'	Jul. 12 03:57	33° 37.9'
4	Aug. 27 21:13	33° 35.6'	126° 37.2'	Aug. 29 15:39	33° 31.8'	126° 51.5'		
5	Aug. 27 21:15	33° 45.2'	126° 36.8'	Aug. 29 09:08	33° 57.6'	127° 24.5'	Aug. 28 14:31	33° 53.8'
6	Sep. 4 12:47	33° 39.8'	126° 36.2'	Sep. 9 23:35	34° 8.2'	127° 50.6'	Sep. 7 16:13	34° 4.3' (126° 55.0')
7	Oct. 18 11:02	33° 37.2'	126° 36.4'	Oct. 24 11:40	33° 46.1'	126° 49.4'		
8	Oct. 18 10:03	33° 42.4'	126° 36.7'	Oct. 21 13:03	33° 52.3'	127° 52.1'	Oct. 19 08:21	33° 46.0'

제주해협의 해류와 월별 유량변화

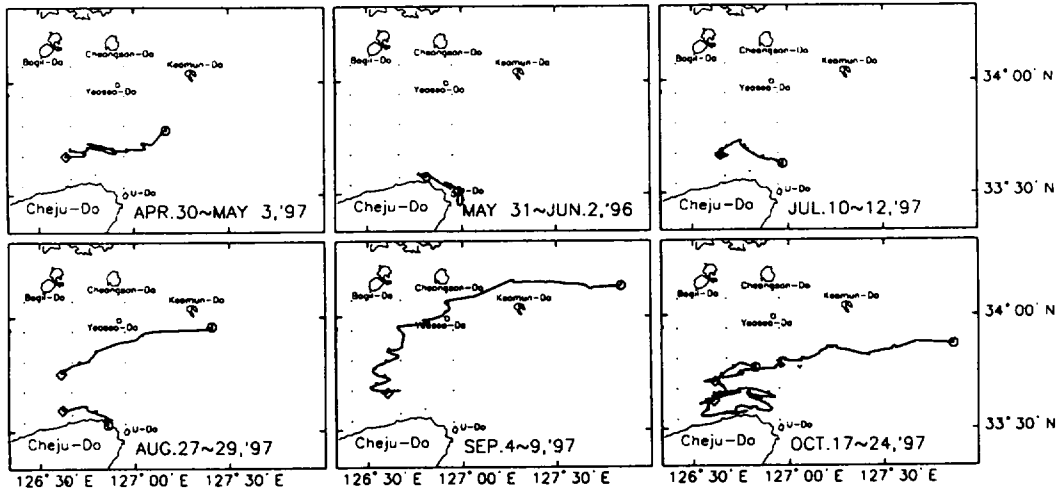


Fig. 2. Trajectories of TGPS buoys released in the Straits of Cheju in 1996-1997

Table 2. Current speed calculated by detecting the surface float released in the Straits of Cheju in 1997 except Case No. 2 in 1996. Tracks out of the strait (east of the meridional line of 126° 57.0' E) are excluded. (+: eastward or northward, -: southward or westward)

case no.	period	duration time	E-W direction		N-S direction		Total		Ratio (EW/NS)
			distance (m)	speed (cm/s)	distance (m)	speed (cm/s)	distance (m)	speed (cm/s)	
1	Apr. 28 -May 1	68hr 39min	29,299	+ 11.9	2,780	+ 1.1	29,427	11.9	10.8
2	May 31 -Jun. 2	42hr 21min	12,299	+ 8.3	4,818	-3.2	13,548	8.9	2.6
3	Jul. 10-12	40hr 22min	29,958	+ 20.6	8,894	+ 6.1	31,237	21.5	3.4
4	Aug. 27-29	42hr 26min	22,071	+ 14.4	7,041	-4.6	23,175	15.2	3.1
5	Aug. 27-28	17hr 16min	31,120	+ 50.1	15,935	+ 25.6	34,940	56.2	2.0
6	Sep. 4-7	75hr 26min	28,994	+ 10.7	45,397	+ 16.7	53,829	19.8	0.6
7	Oct. 18-24	144hr 38min	20,059	+ 3.9	16,491	+ 3.2	25,955	5.0	1.2
8	Oct. 18-19	22hr 18min	31,292	+ 39.0	6,671	+ 8.3	31,984	39.8	4.7
Average				+ 19.9		+ 6.7	22.3		3.6

정리되어 있다. 모든 해류계는 표층, 중층, 저층에서 계류되었으나 해류계의 작동불량으로 문제가 나타난 층의 자료는 연구에서 제외하였다.

해수특성파악을 위한 수온염분관측은 Fig. 1의

관측점들에 대해 1995년 9월부터 1996년 2월까지, 1997년 1월부터 8월까지 CTD(SBE-19)를 가지고 매일 관측하였다. 관측된 수온염분자료를 이용하여 지형류를 계산하여 해류계를 통해 직접측류한

유속과 비교하였고 또한 4개의 단면을 통해 빠져 나가는 지형류의 체적수송량을 계산하여 월별 유량변화를 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 제주해협 해류

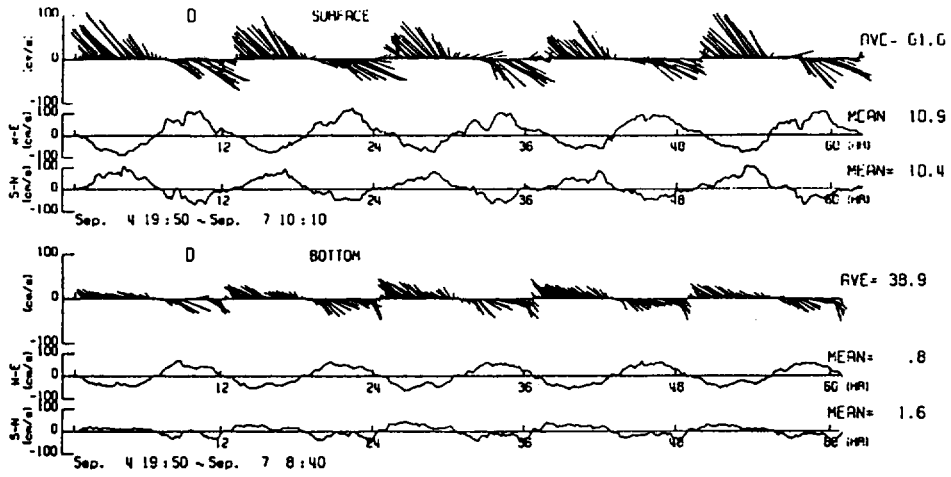
- 표층부표추적

제주해협의 해류를 측정하기 위해 1996년에 1회, 1997년에 5회에 걸쳐 총 8개의 표층부표를 투하하여 그 이동 궤적을 추적하였다. Table 1은 투하 일시와 위치, 회수한 일시와 위치를 표로 나타낸 것이다. Table 2는 부표추적결과를 종합하여 계산한 표층해류의 유속을 나타낸 것이다. 부표의 이동속도를 계산할 때 제주해협의 범위를 벗어난

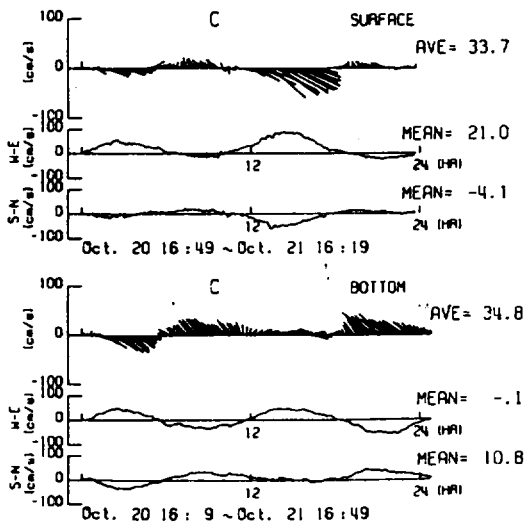
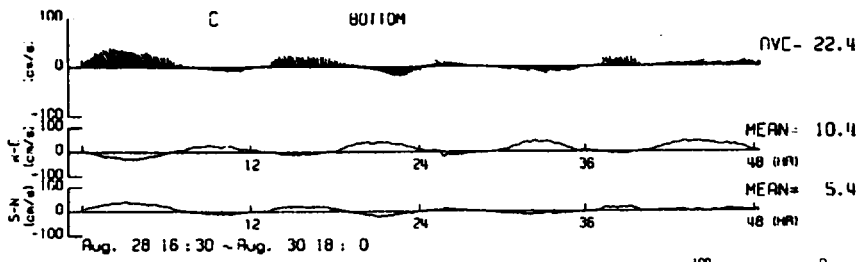
경우 동경 126° 57.0' E선을 제주해협의 동쪽경계선으로 설정하여 그 동쪽의 궤적은 계산에서 제외하였다. Fig. 2는 부표의 궤적을 나타낸 그림이다. 부표추적결과 제주해협의 평균유속은 22.3cm/s로 북동방향으로 흐르는 것으로 나타났으며 최대유속은 8월에 56.2cm/s로 나타났다. 동서방향의 평균유속은 19.9cm/s, 남북방향의 평균유속은 6.7cm/s로 나타났으며 동서방향의 유속은 남북방향의 유속보다 약 3배정도 빠른 것으로 나타났다. 동서방향의 최대유속은 8월에 50.1cm/s, 최저유속은 10월에 3.9cm/s로 나타났으나 제주연안에 가깝게 투하된 Case 4와 Case 8은 각각 8월에 14.4cm/s, 10월에 31.6cm/s로 반대의 경향을 나타내었다. 이런 결과로 볼 때 제주해협에서 동서방향의 유속은 제주연안에 가까울수록 느리고 제주해협중앙으로 갈수록 빠른 흐름을 나타내는 것으로 보인다. 일반적으로 여름철에 가까워질수록 유속이 빠

Table 3. Current meter mooring positions and mean currents in the Straits of Cheju in 1997 (+: eastward or northward, -: southward or westward).

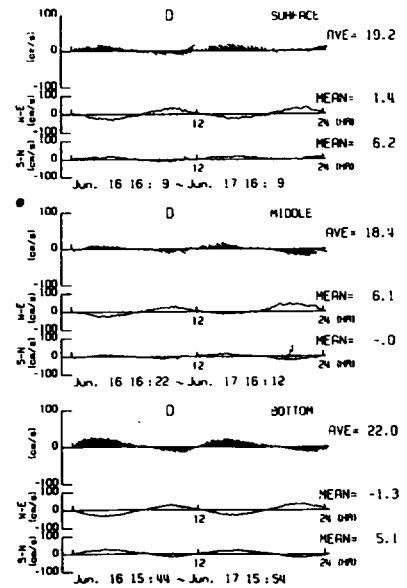
Position (Lat.(N) Lon.(E))	Mooring period	Mooring layer(depth)	Mean Current			Direction	Ratio (EW/NS)	Figures
			Speed(cm/s)					
			E-W	N-S	Total			
A (34° 4.0' 126° 57.0')	Feb. 24-25	surface(10m)	27.1	-4.7	27.5	ESE	5.7	Fig. 3(A)
B (33° 53.0' 126° 57.0')	Feb. 23-24	surface(10m)	13.9	-2.5	14.2	ESE	5.5	//
		bottom(70m)	10.6	1.1	10.7	E	9.0	
	Feb. 22-23	surface(10m)	3.6	-4.6	6.0	SE	0.8	Fig. 3(B)
middle(50m)	2.9	-2.7	4.0	SE	1.1			
bottom(100m)	0.3	-2.7	2.7	S	0.1			
C (33° 40.0' 126° 57.0')	Jun. 14-16	surface(10m)	-11.0	11.8	16.2	NW	0.9	Fig. 3(C)
		middle(50m)	2.1	0.3	2.2	NE	6.9	
		bottom(100m)	1.6	-2.8	3.3	SE	0.6	
	Aug. 28-29	bottom(100m)	10.4	5.4	11.8	NE	1.9	Fig. 3(F)
Oct. 20-21	surface(10m)	21.0	-4.1	21.4	ESE	5.1	//	
	bottom(100m)	-0.1	10.8	10.8	N	0.01		
D (33° 33.0' 126° 57.0')	Jun. 16-17	surface(10m)	1.4	6.2	6.5	NNE	0.2	Fig. 3(G)
		middle(50m)	6.1	0.0	6.1	E		
		bottom(90m)	-1.3	5.1	5.4	NNW	0.3	
Sep. 4-7	surface(10m)	10.9	10.4	15.2	NE	1.1	Fig. 3(E)	
	bottom(90m)	0.8	1.6	1.8	NE	0.5		
Oct. 22-23	surface(10m)	-11.5	2.6	11.9	WNW	4.4	Fig. 3(D)	
	bottom(90m)	0.7	1.4	1.6	ENE	0.5		
Average			4.7	1.7	9.4	ENE	2.8	



(E)



(F)



(G)

Fig. 3(A)-(G). Currents and their east-west and north-south components at the positions of A, B, C, D in the east boundary line ($126^{\circ} 57.0' E$) of the Straits of Cheju

제주해협 해류와 월별 유량변화

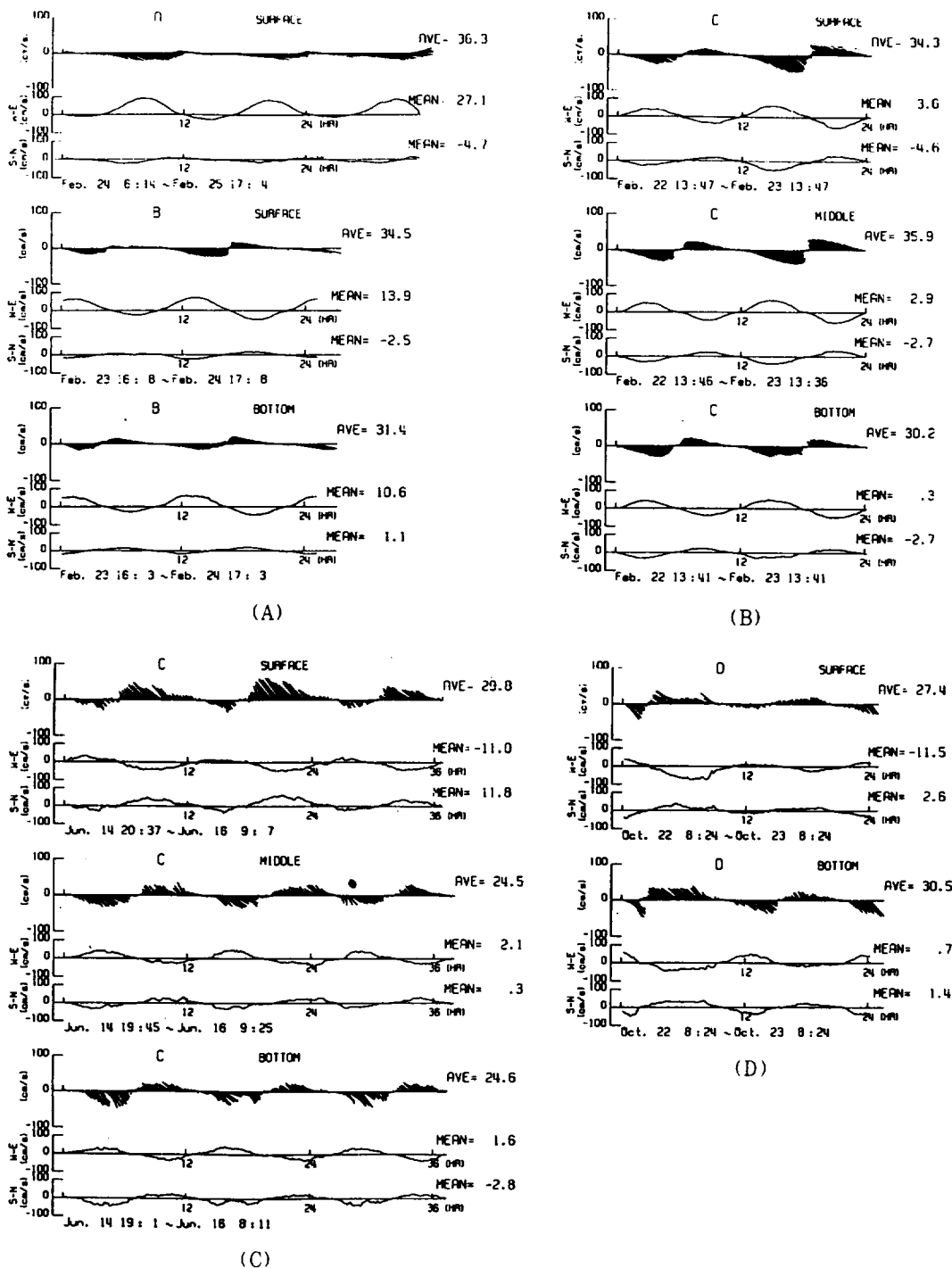


Fig. 3(A)-(G). Currents and their east-west and north-south components at the positions of A, B, C, D in the east boundary line ($126^{\circ} 57.0' E$) of the Straits of Cheju

르고 봄철인 4월과 5월에 상대적으로 느린 유속을 나타낸다. 봄철인 4월에는 동서방향의 유속이 남북방향의 유속보다 압도적으로 빠르고 여름철에 가까워질수록 남북방향의 유속도 빨라져 비슷해지거나 역전되는 경우도 있다. 거의 모든 표층류가 북동방향을 향해 흘렀으나 제주도 해안근처에 투하한 부표(Case 2와 Case 4)는 해안을 따라 남동쪽으로 이동하여 제주도 동쪽에서 회수되거나 제주도 북부해안을 따라 서진한 경우도 있었다.

- 해류계 관측

제주해협을 통과하는 해류의 유속을 측정하기 위해 Fig. 1과 같이 제주해협의 동쪽경계선(동경 126° 57.0'E선)에 4개 지점에 수심별로(표층, 중층, 저층) 해류계를 계류하여 해류를 측정하였다. Fig. 3(A)~(G)는 해류의 유향과 유속을 표시하고 동서방향의 유속과 남북방향의 유속성분을 분리하여 항류(mean current)성분을 나타낸 그림이다. 평균유속은 9월에 D지점 표층에서 61.6 cm/s(Fig. 3(E))의 최대를 나타냈고 6월에 D지점 중층에서 18.4cm/s(Fig. 3(G))로 최소를 나타내었다. 따라서 조류의 유속은 계절별로 큰 변화는 없는 것으로 보인다. 그리고 표층유속은 보통 중층이나 저층보다 빠르게 나타내지만 D지점에서 6월에 관측한 것처럼 중층의 유속이 표층보다 빠르게 나타날 때도 있었다. Table 3은 동서방향과 남북방향의 유속으로 구분한 항류성분을 수심별 지점별로 정리한 것이다. 항류성분은 동북동쪽으로 흐르는 9.4cm/s의 평균유속을 나타내고 동서방향의 유속은 남북방향의 유속보다 평균 2.8배 빠르게 나타났다. 항류성분은 대부분 동향을 나타내었으나 6월 C지점 표층과 10월 D지점 표층에서 11cm/s정도의 서항류가 나타난 것은 매우 특이한 사항이다. 이것은 우도와 제주항사이의 제주연안에 서항류가 존재하고 있음을 보여주는 것으로 표층부이 추적에서도 제주연안에 투하한 부이가 제주도 동쪽해안에 닿거나 연안근처를 따라 서진한 궤적을 나타낸 것과 잘 일치하는 현상이다. 이처럼 제주도 연안근처 6마일 이내에 투하한 부이가 제주해협을 빠져나가지 못하거나 D지점의 표층해류계 자료에서 서항류가 나타나는 것들은

Rho and Hirano(1983)가 밝힌 제주해협 동쪽입구에 출현하는 설상의 난류수에 의한 것으로 보인다. 이 설상의 난류수는 제주연안 근처에 투하한 표층부표의 궤적을 제주도 부근해역과 제주해협 북동방향으로 분리시키는 역할을 하는 것으로 보인다. 따라서 제주도 북부연안 10마일 이내의 해역에서는 동향류 및 북동류와 서항류가 동시에 나타날 가능성이 있다.

해류계 관측을 통한 유속과 지형류계산에 의한 유속을 비교하기 위해 Section 4에 대해 지형류의 유속을 계산하여 수직단면으로 나타내었다(Fig. 4(A),(B)). 그림에서 연중 동쪽으로 흐르는 유속이 나타나고 5월에서 11월까지 해협중앙에서 10cm/s이상의 유속이 꾸준히 나타나는 것은 해류계자료와 비슷하지만, Table 3에서 C지점에서 6월에 서항류가 8.2cm/s 나타나는 것들은 정량적으로 지형류계산과 해류계 관측결과가 잘 맞지 않는 것을 나타낸다. 이러한 차이는 지형류 계산시 인접 관측점과의 수심이 다르므로서 생겨나는 무류점 설정문제와 전향력과 압력경도력외에 마찰력이 크게 작용함으로써 생겨나는 지형류계산에서의 오류와 해류계 계류기간이 짧고 조류성분을 정확하게 제거하지 못하는 평균에 의한 항류계산에서의 오류에서 비롯되는 것으로 보인다. 보다 정확한 해류를 파악하기 위해서는 장기간 해류계 자료를 얻고 조류성분을 제거하여 항류를 구한다음 시간별, 공간별로 비교하는 것이 필요한 것으로 보인다. 그리고 Fig. 4(A)에서 관측점 21 부근에서는 해협으로 들어오는 흐름이 꾸준히 있는 것으로 보아 제주해협 동쪽입구의 설상의 난류수가 영향을 미치고 있음을 보여준다.

2. 제주해협의 월별 유량변화

제주해협을 통과하는 유량의 월별변화를 알아보기 위해 CTD관측을 통해 얻어진 수온염분자료를 가지고 지형류의 체적수송량을 계산하여 보았다. Fig. 5는 각 단면별로 동서방향의 체적수송량의 월별변화를 나타낸 그림이다. 제주해협의 체적수송은 연중 동쪽으로 이루어지는데 겨울철인 12월~2월에는 0.05~0.2 Sv내외의 체적수송량을 나타내던 것이 여름철인 7월과 9월에 0.4~0.5 Sv

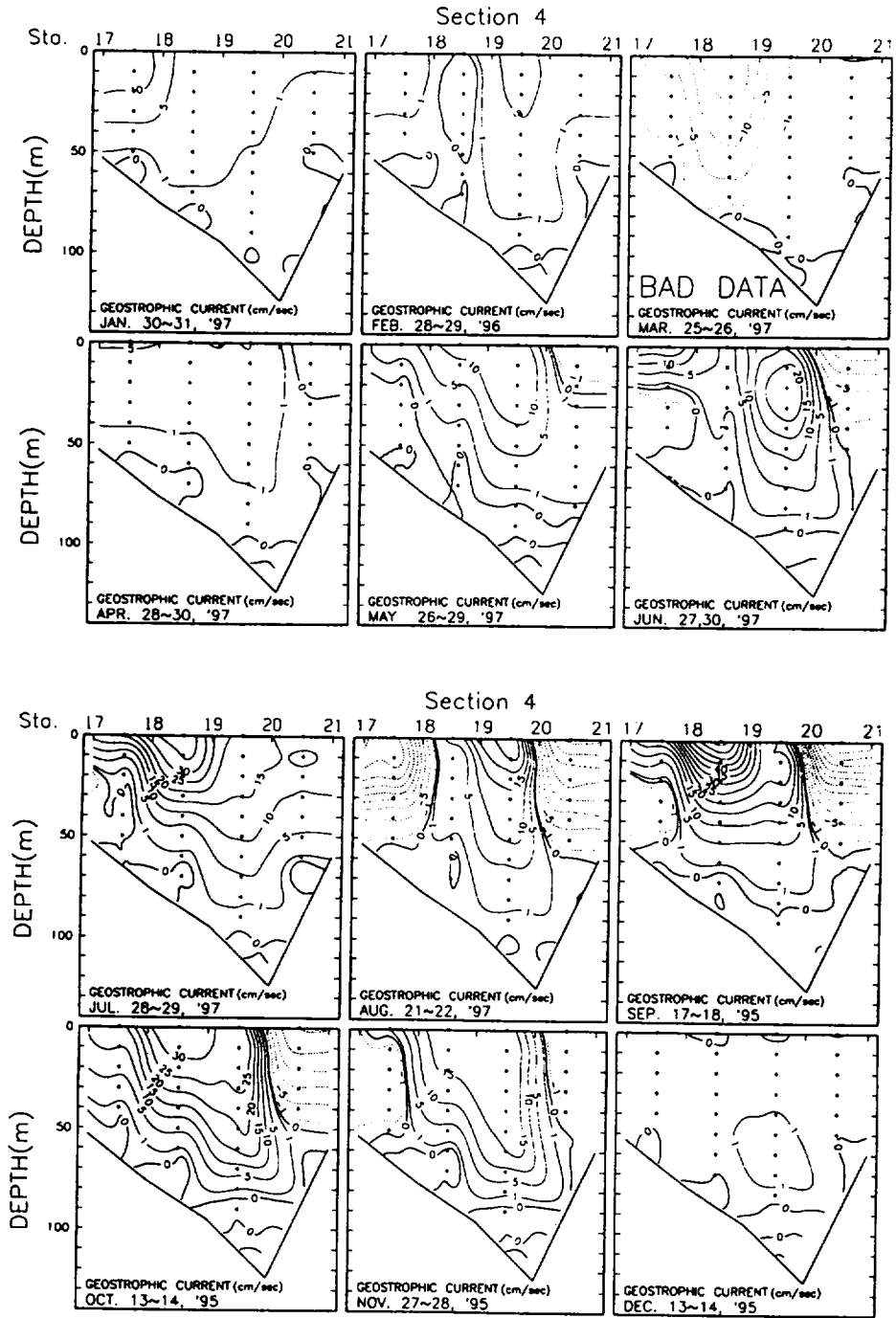


Fig. 4. (A),(B) Monthly geostrophic currents in the Section 4 ($126^{\circ} 57.0' E$), the east boundary line of the Straits of Cheju. Positive values are into the paper (eastward)

제주해협의 해류와 월별 유량변화

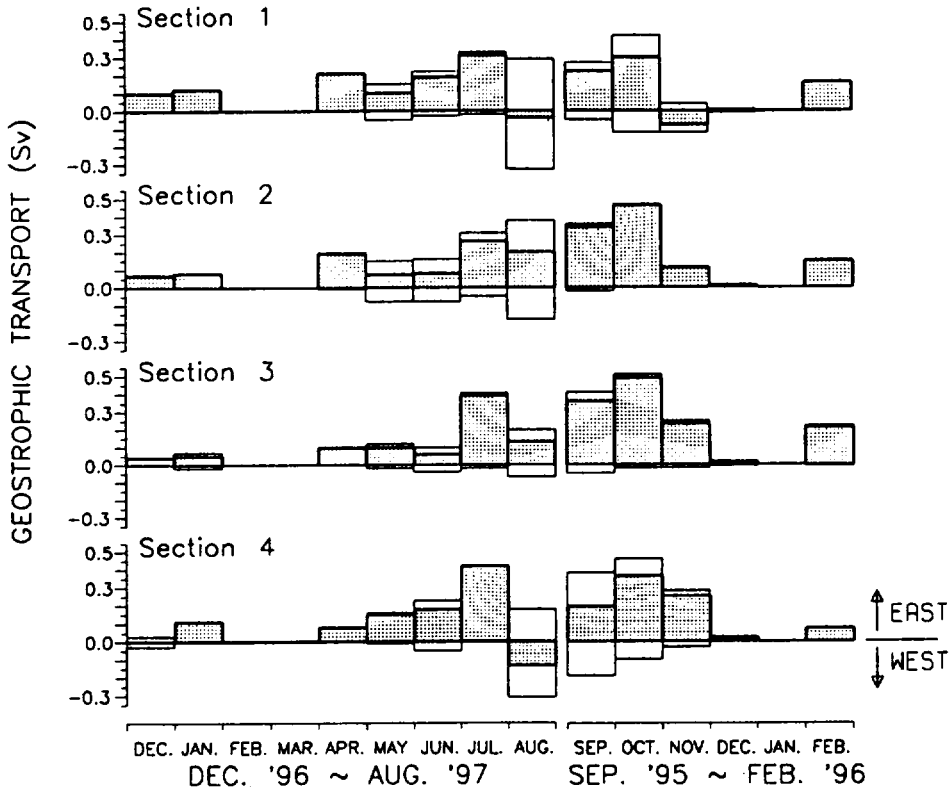


Fig. 5. Monthly variations of volume transports at the Section 1, 2, 3, 4 in the Straits of Cheju by geostrophic calculations

로 증가하여 10월에 최대수송량을 나타낸다. 봄철인 4~6월에 0.2~0.3 Sv 정도의 체적수송을 나타내는 것은 ADCP를 통해 관측한 Suk et al.(1996)의 0.3 Sv과 잘 일치한다. 따라서 여름철과 겨울철의 체적수송량의 차이는 0.3~0.35 Sv 정도로 나타내는데 이러한 차이는 해수면의 계절 변화를 통해 Pang and Oh(1995)가 계산한 0.3 Sv과 잘 일치하는 결과이다. 그런데 8월의 체적수송량이 7월과 9월에 비해 매우 적게 나타난 것은 표층의 유량이 급격하게 증가하는 8월에는 지형류계산이 잘 맞지 않음을 보여주며, 특히 표층부표추적을 통해 8월에 최대의 동향류가 나타난 것과 매우 대조적이다. 하지만 제주해협을 통과하는 해수는 연중 동쪽으로의 흐름을 나타내는 것과 여름철에 유량이 증가하고 겨울철에 감소하는 것은 지형류계산으로도 정상적인 흐름을 파악할 수

있음을 보여준다.

요약

제주해협의 해류를 측정하기 위해 1996~1997년에 총 8개의 표층부표를 투하하여 그 궤적을 추적하였고, 5회의 해류계 관측을 총별로 실시하였다. 제주해협의 월별 해황 변동을 파악하기 위해 1995년 9월부터 1997년 8월까지 월별로 24개 관측점에 대해서 해수특성에 대한 관측을 실시하였다.

표층부표추적결과 제주해협을 통과하는 해류는 평균 22cm/s의 유속으로 북동방향으로 흐르는 것으로 나타났다. 여름철에 가까와질수록 유속은 빨라져서 8월에 56.2cm/s의 최대 유속을 나타내었다. 제주해협의 유속은 해협중앙에서 빠르고 제주

도 연안해역에서 느린 것으로 나타났다. 제주해협의 동쪽경계선에 계류시킨 해류계 관측결과 제주해협의 동쪽경계선에서의 조류는 일반적으로 북서~남동방향으로 순간 최대유속은 138.5cm/s를 나타내었고, 항류는 평균 9.4cm/s의 동북동쪽으로의 흐름을 나타내었다. 보통 표층에서 유속이 강하고 저층에서 약한 경향을 나타내지만 그 반대 경향을 보인 경우도 있었다.

제주해협을 통과하는 유량변화를 파악하기위해 계산한 체적수송에서는 연중 서쪽에서 동쪽으로 체적이 수송되는데 겨울에 0.05~0.2 Sv에서 여름철로 갈수록 수송량이 증가하여 10월에 0.5 Sv내외로 최대 수송량을 나타내었다. 겨울과 여름철의 체적수송량의 차는 0.3~0.35 Sv정도인데 여름철에 수송량이 증가하는 것은 표층부표추적에서 나타난 결과와 잘 일치하는 것으로 보인다. 그런데 8월의 체적수송량은 인접하는 7월과 9월의 수송량에 비해 매우 작게 나타나 표층에 저염의 연안수가 급격하게 증가하는 8월에는 지형류계산이 잘 맞지 않는 것으로 보인다.

사 사

이 연구는 1996년 교육부 해양/수산과학분야 학술연구조성비의 지원에 의한 것임. (KIOS-96-M-05)

참 고 문 헌

- Chang K.I. 1984. The structure of currents and its flow dynamics of the Jeju strait. M.S. Thesis, Seoul National Univ., pp62.
- Chang K.I., K. Kim, S.W. Lee and T.B. Shim. 1995. Hydrography and Sub-tidal Current in the Cheju Strait in Spring. 1983. J. Kor. Oceanogr. Soc., 30(3), 203-215.
- Kim B.K. 1979. A study on the currents in the Jeju Strait. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 21, 7-21.
- Kim S.H. 1995. Studies on the Assembling Mechanism of Hairtail, *Jrichiurus lepturus*, at the Fishing Ground of the Cheju Strait. PH. D. Thesis, Cheju National Univ., pp168 (in Korean with English abstract)
- Kim S.H. and H.K. Rho. 1997. A Study on the residual current in the Cheju Strait. J. Kor. Fish. Soc., 30(5), 759-770(in Korean with English abstract)
- Pang I.C. and I.S. Oh. 1996. Warm Water Circulation and its Origin by Sea Level Fluctation and Bottom Topography. J. Kor. Fish. Soc., 28(5), 677-697 (in Korean with English abstract)
- Rho H.K. and T. Hirano. 1983. Toung-like Warm Water Appeared in the East Entrance of the Jeju Strait. Bull. Kor. Fish. Soc., 16(4), 299-304 (in Korean with English abstract)
- 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. Kor. Oceanogr. Soc., 31(2), 55-63