

黃海 및 東中國海陸棚에서의 海流觀測 Current Observations in the Yellow Sea and the East China Sea Continental Shelf

崔 秉 昊
Byung Ho Choi*

要 旨 : 黃海 및 東中國海陸棚에서 海流觀測에 利用되는 現代의인 方法들을 敘述하였고 이 海域 海流의 變化度를 海流觀測方法과 關聯하여 討議하였다. 이 陸棚海域의 報告된 海流觀測의 總體的인 資料蒐集을 遂行하였다.

Abstract □ A description is given of the recent techniques employed for the measurement of currents in the East China Sea continental shelf. The variability of the currents in the region is briefly discussed as it affects the measurement. Data sources have been collated to develop an inventory of current observations in the shelf seas around Korea.

1. 緒 論

外洋의 海流는 複雜한 樣相을 갖는데 海面風에 의한 剪斷力 및 太陽과 太陰의 起潮力 등에 의해 發生한다. 이러한 海流는 西岸流와 같은 大規模 循環形態 및 海洋盆地間의 흐름형태로서 大循環을 이루기도 하지만 海洋工學的인 側面에서는 陸棚海와 같은 淺海에서의 海流形態 및 이의 時間的, 空間的 分布狀況이 重要하다. 따라서 世界的으로 陸棚海의 潮流 및 海流觀測의 必要性이 強調되어 왔으며 北海의 境遇 近年에 老대한 海流觀測이 이루어져 陸棚力學의 研究 및 外洋構造物의 設計에 필요한 外力條件을 提供하고 있으나 東中國海 및 黃海의 境遇는 비로소 始作되는 段階에 있다. 陸棚의 海流觀測은 潮汐成分과 그외의 高周波 成分의 海流를 결정하는데 주로 1個月 정도의 觀測에 의해 調查되어 왔다. 그러나 海流를 發生시키는 基本機構에 대한 充分한 物理的 理解의 不足으로 仔細한 統計를 위해서는 數個月의 觀測을 要한다. 陸棚全體에 대하여 稠密하게 海流觀測을 遂行하는 것은 不可能하므로 近年에는 數個點의 制限된 海流

觀測으로부터 全體狀況을 外插시킬 수 있는 數值模型이 陸棚循環에 관한 研究에 널리 利用되고 있다. 本稿의 目的은 東中國海 陸棚에서의 이제까지 遂行된 海流觀測의 總體的인 資料蒐集을 遂行하여 資料에 대한 一次評價를 하여 數值模型의 檢證에 有用한 資料를 提供하며 繼續的인 廣範圍한 海流觀測의 必要性을 強調하는데 있다.

2. 海流觀測

海流觀測技法은 根本的으로 固定點에서의 流速 벡터의 時系列을 觀測하는 流速計에 의한 Euler 方法과 水粒子의 軌跡運動을 追跡하는 浮標에 의한 Lagrange 方法으로 나뉘어지며 其他 方法으로는 近來에 普及되기 시작하는 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)와 間接的인 測定方法인 海底通信電線에 의한 電壓測定이 東中國海陸棚 및 우리나라 沿海에서 이루어지고 있으므로 本稿에서는 이를 역시 포함하였다.

*成均館大學校 土木工學科 (Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon Campus, Suwon, Korea)

2.1 Euler 方法

自動繫留流速計로서 가장 信賴性있는 機器는 아니더라도 널리 利用되는 定點流速觀測을 위한 Aanderaa 流速計는 近年에 黃海·東中國海陸棚 觀測에 널리 利用되고 있는데 韓國은 海洋(開發)研究所가 70年 初半에 月城 原子力發電所의 海上調査에 利用한 것이 嚆矢를 이룬다. 이 流速計는 Savonius rotor에 의한 回轉을 관측함으로써 流速을 記錄하는 裝備로서 sampling 間隔의 scalar 平均을 취하며 流向은 磁氣子午線 (magnetic meridian)에 대한 vane의 方向으로 決定하는데 sampling 期間의 시작과 끝에서의 方向으로 決定하는 單純한 技法을 擇한다(最近에는 vector averaging 기능이 包含되었다). 이에 반해서 burst sampling 流速計는 秒單位の 짧은 期間에 流速과 方向을 觀測하는 方法이다. 近年에 利用되는 VACM(Vector Averaging Current Meter)는 數分의 sampling 期間에 rotor의 回轉當 8個 方位에 대한 vector 平均流速을 구하는 機器이나 여전히 表面 波浪周波에 의한 運動은 感知하지 못한다는 短點이 있다. 反面 VMCM(Vector Measuring Current Meter)은 波浪에 의한 流速成分이 分離될 수 있도록 設計된 流速計로서 表層 및 沿岸境界層을 包含한 沿岸實驗이 可能하다. 過去 15年 間に 黃海 및 東中國海 陸棚에서 遂行된 定點海流觀測의 位置가 Fig. 1에 提示되어 있으며 觀測機器 및 期間이 Table 1에 제시되어 있다. 이 海域의 活潑한 漁業活動 때문에 水中 繫留方法이 가장 適合한 것으로 생각되는데 Fig. 2는 1986년 冬季의 黃海東側에서의 韓·美共同海流觀測(Florida 州立大-成均館大 共同觀測)에서 採擇된 方法이다. GPS가 充分히 活用되지 못하던 1980年代 中半까지 LORAN-C가 海上觀測에 널리 利用되었는데 夏季의 成層現像이 發達할 때는 水中切離裝置와의 信號通信이 信賴性이 없어 正確한 位置 確認 및 回收에 隘路를 겪기도 하였다. 이 期間에는 堅固한 anchor, chain, radar reflector 및 點滅燈이 부착된 surface steel buoy에 의한 VMCM을 Woods Hole 海洋研究所에서 設置하였으나 流失되어 끝내 回收하지 못하였다. 美 海軍海洋局(NAVOCEAN)의 韓國 南海岸 峽水路에서의 觀測은 流速이 6-7 m/sec를 上廻하기도 하여 流速計 傾斜가 30°를 넘어서 資料利用에 信憑性이 없으며 또한 強流速에 의한 繫留連結部(swivel)의 破損 및 流速計連結棒의 龜裂破壞에 의한 損失이 심하였다고 報告된 바 있다.

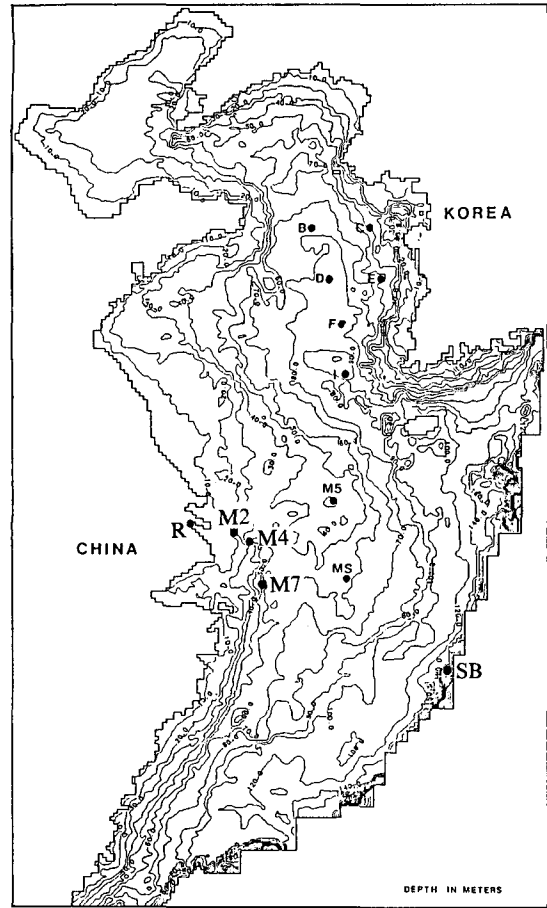


Fig. 1. Positions of current meter rigs in the Yellow Sea and the East China Sea.

九州大 應用力學 研究所의 陸棚端에서의 海流觀測은 黑潮研究와 關聯하여 數年間의 持續的인 努力으로 遂行되고 있다. Table 2는 長江河口와 東側黃海海域의 海流觀測值에 대한 潮流의 調和分析結果를 東向, 北向成分의 調和常數로서 提示하고 있다. Fig. 3에서 各分潮의 潮流橢圓은 重疊되어 있으나 Table 2의 u, v 振幅으로부터 判別될 수 있다. 이 結果는 潮汐模型의 運用에 있어 境界潮汐을 單獨潮汐 또는 複合潮汐條件을 賦與시킴으로써 算定된 流速의 檢證에 直接的으로 利用될 수 있다. 陸棚上에서의 넓은 海域에서의 潮流는 일반적으로 半日週潮形이며 局地的인 慣性周波數에 接近한다. 陸棚海가 成層現像을 이룰 때 潮流 역시 定壓成分과 傾壓成分으로 나뉘어지는데 定壓成分에 대해서는 天文外力에 직접 관련되어 豫

Table 1. 繁留型 流速計에 의한 黃海·東中國海에서의 海流觀測

海流觀測名	觀測場所	使用機器名	觀測期間	根據 文獻
美 Oregon州立大의 AMTEX-75 潮流 觀測資料	Station 10 28°26.6'N, 125°25.3'E	Aanderaa RCM-4	75.2.14-75.3.1	GARP/AMTEX Trump and Burt (1981)
	Station 7 28°38.8'N, 125°27.2'E		75.2.13-75.3.1	
美 Louisiana 州立大의 北緯 36度 潮流觀測資料	Station 1 36°01'N, 126°15'E	Endeco 174 流速計	82.9.12-82.10.4	Wells and Huh (1984)
	Station 2 36°01'N, 126°02'E		82.9.12-82.10.4	
美·中共 共同海洋觀測	北緯 30度 近海에서의 7個點의 海流觀測	Aanderaa RCM-4	1980-1981	Larsen, Cannon and Choi (1985)
韓國交通部水路局 美海軍(NOVOCEAN) 共同海流觀測	횡간수도 34°15'24"N, 126°36'06"E	Vector 平均 流速計	1970.10-1970.12	미국 Naval Oceanographic Office Unpublished Report (1972)
	大韓海峽 34°54'46"N, 129°15'06"E		1970.10-1970.11	
	影島橋 35°05'34"N, 129°02'21"E		1972.3	
	釜山 35°03'37"N, 129°07'04"E		1972.6-1971.7	
	釜山 35°03'37"N, 127°03'55"E		1971.9-1971.10	
九州西側海域 海流觀測	Iriomote島 東側 陸棚端 27°00'N, 123°36'E	Aanderaa RCM-4 NC-4	79.12.4-80.3.5 75.2.14-75.2.24	Inaba <i>et al.</i> (1981)
	Tokara海峽	Aanderaa RCM-4	80.10.5-81.2.20	
美國 WHOI/中共 Academia Sinica 海洋研究所 共同海流觀測	山東半島南側海峽의 5個點	ACM 및 VMCM	83.11.10-83.11.25	
韓·美 共同 海流觀測 (Florida대-成均館大)	韓國 西海岸 6個點	Burst Sampling VACM	1986.1-1986.4	Harkema and Hsueh (1987) also Choi (1989)
韓國海洋研究所의 海洋環境圖作成을 위한 海流觀測	黃海 東側海域 14個點	Aanderaa RCM-4	1982-1984	海洋研究所 (1985)
山東海洋大學	30°37'N, 122°42'E		17일	Zhou (1987)
九州大學의 大韓海峽 海流觀測	34°37'22"N, 129°19'40"E	Aanderaa RCM-4 (3기의 流速計)	87. 6.27-87.9.20 및 連續	Kawatate <i>et al.</i> (1991)
九州大學의 東中國海 陸棚端 에서의 觀測	27°13'N, 126°07'E(4대)	Aanderaa RCM-4	87.10.30	九州大 應用 力學研究所 및 連續
	27°10'N, 126°28'E(5대)		88.8.24-88.9.21	

報가 比較的 容易하나 傾壓成分은 成層과 地形效果에 의한 것으로서 豫測하기 어렵다.

2.2 Lagrange 方法

Drogue와 浮標에 의해 水粒子 移動을 追跡하는

方法들이 이 範疇에 속한다. 深海에서는 中立浮力 가진 浮標를 설치하여 海流를 觀測하는 方法이 1950년대 中半부터 활용되어 왔는데 沿岸에서는 自動觀測體系(autonomous listening station)가, 海洋에서는 船舶追跡體系(ship-based tracking system)가 각각

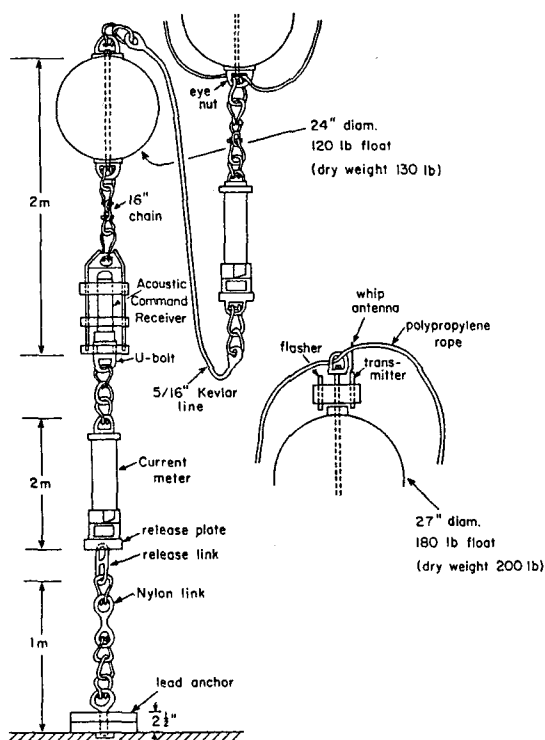


Fig. 2. Current meter moorings used in the eastern Yellow Sea (Choi, 1989).

이용되어 왔다. 近年에는 衛星追跡浮標가 活潑히 利用되기 시작하고 있다. 黃海陸棚에서는 ARGOS 衛星追跡浮標를 1986年 1月 및 7月, 1988年 7月 및 12月에 投下하여 이 陸棚海에서 海流의 移動에너지가 강한 海域과 상대적으로 潮汐循環이 미약한 北部黃海海域이 역시 判別되었다. Fig. 4 및 5는 1986年 冬季 및 夏季에 투하된 浮標의 衛星追跡經路이며 Fig. 6 및 7은 1988년 浮標의 追跡經路인데 1986년 冬季에 投下된 球形浮標는 parachute형 drogue(Ferranti ORE 社製)가 附着된 形態로서 成功의이지 못한 반면, 그 이후에 運用된 浮標는 Draper Laboratory에서 제작된 discus형 浮標로서 fish net형 drogue이며 比較的 長期間 運用되었다. 實際의인 投下方法에 있어서도 前者는 引揚장비를 필요로 하는 반면 後者는 어떤 形態의 船舶에서도 容易하게 海上에 投下시킬 수 있었다. Fig. 4는 1986年 1-3月 期間의 浮標追跡으로 山東半島 右側北緯 36度 30分에 投下된 浮標는 北西風의 영향으로 南東移動하다 南向 移動한 經路를 제시하며 濟州道 南方 北緯 32度에 投下된 浮標는 오히려 바람

Table 2. 主要海流觀測位置에의 東向, 北向 流速成分의 調和常數

U方向 流速 振幅 (cm/sec)	遲角 (度)	V方向 流速 振幅 (cm/sec)	遲角 (度)	分潮	流速計 位置
2.7	41.6	8.3	260.6	O ₁	Station I
2.6	79.3	12.6	253.2	K ₁	(124°41.5'E,
2.1	93.4	8.0	340.4	N ₂	34°18.1'N)
13.3	111.5	43.7	358.5	M ₂	(depth = 48m)
7.0	164.2	18.3	54.2	S ₂	
1.7	107.9	3.0	219.6	O ₁	Station C
2.7	152.7	4.7	259.2	K ₁	(125°24.8'E,
4.2	345.7	4.3	65.2	N ₂	36°57.0'N)
29.5	3.7	25.9	88.3	M ₂	(depth = 52m)
12.8	68.6	10.9	142.3	S ₂	
1.2	110.2	2.1	242.1	O ₁	Station B
1.7	146.5	3.7	271.9	K ₁	(124°05'E,
1.9	348.6	3.6	112.9	N ₂	36°56.9'N)
11.8	12.4	22.4	136.1	M ₂	(depth = 74m)
5.2	72.9	8.6	190.6	S ₂	
2.3	54.0	7.2	211.2	O ₁	Station F
2.4	127.3	10.4	252.0	K ₁	(124°44.3'E,
.8	329.4	6.8	3.1	N ₂	35°13.8'N)
5.0	7.2	39.9	19.4	M ₂	(depth = 70m)
2.7	89.7	19.6	71.4	S ₂	
1.1	120.8	3.5	224.8	O ₁	Station D
1.9	169.4	5.0	261.9	K ₁	(124°34.9'E,
2.0	169.4	2.9	50.4	N ₂	36°00'N)
15.4	9.8	17.0	60.3	M ₂	(depth = 86m)
7.5	72.0	7.2	108.6	S ₂	
1.6	51.3	4.7	190.3	O ₁	Station F
2.1	146.6	6.6	250.5	K ₁	(124°44.3'E,
1.0	280.6	3.9	323.8	N ₂	35°13.8'N)
8.3	329.2	26.0	350.3	M ₂	(depth = 94.5m)
4.3	56.6	12.0	66.4	S ₂	
1.4	102.1	3.9	237.3	O ₁	Station B
2.4	144.3	5.8	272.3	K ₁	(124°05'E,
2.8	340.8	5.4	119.8	N ₂	36°56.9'N)
18.6	4.4	32.8	146.2	M ₂	(depth = 38m)
7.8	71.5	12.2	200.4	S ₂	
1.4	117.5	3.4	203.3	O ₁	Station E
1.7	163.8	5.4	242.4	K ₁	(125°35.9'E,
2.8	329.1	4.3	26.5	N ₂	36°01.7'N)
20.1	348.1	25.4	42.6	M ₂	(depth = 63m)
8.9	49.2	11.8	95.3	S ₂	
.8	169.1	5.8	212.5	O ₁	Station D
1.4	230.9	8.8	257.2	K ₁	(124°34.9'E,
2.1	357.7	5.0	45.5	N ₂	36°00.1'N)
15.1	10.8	26.1	63.2	M ₂	(depth = 41.0m)
7.4	80.0	12.2	112.5	S ₂	

Table 2. (계속)

U方向 流速 振幅 (cm/sec)	遅角 (度)	V方向 流速 振幅 (cm/sec)	遅角 (度)	分潮	流速計 位置
8.9	258.9	2.5	78.0	O ₁	Station R
34.5	289.4	15.4	134.9	K ₁	31.38N, 121.09E
26.0	90.5	4.1	297.9	N ₂	(depth=2m)
102.3	122.7	33.0	306.3	M ₂	
38.2	202.6	11.3	28.7	S ₂	
2.3	247.5	2.4	146.9	O ₁	Station R
22.7	285.1	3.6	228.8	K ₁	31.38N, 121.09E
39.0	116.7	1.6	196.5	N ₂	(depth=13m)
77.3	107.2	18.4	292.0	M ₂	
25.4	216.4	8.0	53.1	S ₂	
3.0	308.8	3.4	294.9	O ₁	Station SB
3.6	10.7	3.2	294.0	K ₁	BREAK (22)
4.1	326.9	3.7	263.3	N ₂	28.91N, 127.25E
11.0	.6	8.6	272.4	M ₂	(depth=22m)
3.5	353.8	2.9	256.1	S ₂	
.4	254.7	.8	130.0	O ₁	Station SB
1.7	10.5	1.3	136.4	K ₁	BREAK (10)
1.5	2.5	2.6	269.2	N ₂	28.91N, 127.25E
11.8	339.9	7.4	218.7	M ₂	(depth=110m)
4.8	16.0	4.3	247.2	S ₂	
.7	244.2	.9	210.7	O ₁	Station SB
.8	317.7	2.0	143.6	K ₁	BREAK (177)
5.3	276.6	3.1	164.2	N ₂	28.91N, 127.25E
27.2	2.0	16.9	211.8	M ₂	(depth=177m)
4.7	20.7	4.4	230.4	S ₂	
4.2	333.9	6.0	240.4	O ₁	Station MS
6.4	337.4	8.3	260.4	K ₁	SHELF (23)
6.2	.2	5.3	264.3	N ₂	30.52N, 124.80E
42.7	30.7	41.3	293.6	M ₂	(depth=23m)
11.8	63.0	10.1	320.3	S ₂	
2.6	336.7	4.1	249.2	O ₁	Station MS
3.2	319.4	4.3	265.7	K ₁	SHELF (32)
5.7	344.0	4.7	242.1	N ₂	30.52N, 124.80E
35.9	5.9	34.2	266.9	M ₂	(depth=32m)
10.3	34.8	9.3	297.3	S ₂	
2.5	342.4	4.0	257.4	O ₁	Station MS
2.6	328.0	4.1	271.3	K ₁	SHELF (45)
4.7	10.7	3.7	270.7	N ₂	30.52N, 124.80E
32.1	18.0	30.4	279.0	M ₂	(depth=45m)
9.3	42.8	8.7	306.3	S ₂	
8.9	18.1	9.0	249.1	O ₁	Station M5
32.9	186.0	16.4	113.9	K ₁	32.00N, 124.50E
10.3	177.4	16.6	90.0	N ₂	(depth=5m)
66.4	143.4	71.5	51.6	M ₂	
28.2	192.2	31.5	97.9	S ₂	

Table 2. (계속)

U方向 流速 振幅 (cm/sec)	遅角 (度)	V方向 流速 振幅 (cm/sec)	遅角 (度)	分潮	流速計 位置
3.8	304.3	5.6	244.8	O ₁	Station M5
10.0	333.1	9.8	256.5	K ₁	32.00N, 124.50E
3.8	30.1	7.3	309.4	N ₂	(depth=20m)
53.2	61.0	59.5	324.3	M ₂	
20.0	117.1	20.7	12.0	S ₂	
2.1	312.6	3.9	252.3	O ₁	Station M5
6.7	356.0	7.6	281.2	K ₁	32.00N, 124.50E
8.3	106.9	8.0	18.5	N ₂	(depth=35m)
45.8	96.0	46.3	358.5	M ₂	
19.2	141.7	18.6	47.7	S ₂	
10.2	289.0	10.7	266.8	O ₁	Station M2
6.1	.7	5.6	346.5	K ₁	31.39N, 122.37E
11.5	118.7	10.4	28.0	N ₂	(depth=4m)
88.0	103.4	88.9	350.0	M ₂	
33.4	149.4	34.8	33.9	S ₂	
1.8	141.0	3.3	258.8	O ₁	Station M2
2.0	188.1	7.5	294.8	K ₁	31.39N, 122.37E
3.7	65.5	5.8	248.9	N ₂	(depth=13m)
40.9	63.8	50.3	305.8	M ₂	
18.5	122.9	17.0	349.8	S ₂	
3.5	210.0	6.8	276.2	O ₁	Station M4
5.3	324.7	7.9	342.3	K ₁	31.25N, 122.82E
11.4	73.2	17.1	301.5	N ₂	(depth=2m)
48.3	86.7	52.1	313.5	M ₂	
19.5	100.1	24.4	333.2	S ₂	
4.7	155.9	2.5	256.6	O ₁	Station M4
6.9	231.8	5.8	265.1	K ₁	31.25N, 122.77E
5.1	62.2	3.7	274.0	N ₂	(depth=38m)
47.6	74.5	39.2	301.8	M ₂	
13.7	117.6	14.2	338.5	S ₂	
5.4	149.5	3.9	297.7	O ₁	Station M4
8.1	245.0	5.8	276.9	K ₁	31.25N, 122.77E
6.6	53.2	6.3	263.4	N ₂	(depth=25m)
44.4	83.4	44.8	312.4	M ₂	
18.1	124.4	18.0	349.1	S ₂	
4.2	159.4	3.1	257.6	O ₁	Station M4
5.5	231.8	4.1	294.4	K ₁	31.25N, 122.77E
3.7	70.1	4.0	256.8	N ₂	(depth=44m)
31.2	71.0	37.4	296.4	M ₂	
11.3	114.5	13.6	332.9	S ₂	
11.3	315.0	8.7	291.2	O ₁	Station M7
2.4	265.6	10.5	79.3	K ₁	30.33N, 123.44E
13.1	125.3	11.4	24.1	N ₂	(depth=5m)
36.1	68.2	48.4	315.8	M ₂	
10.8	99.8	19.4	353.9	S ₂	

Table 2. (계속)

U方向 流速 振幅 (cm/sec)	遲角 (度)	V方向 流速 振幅 (cm/sec)	遲角 (度)	分潮	流速計 位置
9	282.5	.8	280.8	O ₁	Station M7
3.3	354.4	4.6	284.6	K ₁	30.33N, 123.44E
3.1	9.4	6.3	234.1	N ₂	(depth = 50m)
27.8	37.1	37.8	281.7	M ₂	
9.1	78.4	13.0	318.6	S ₂	
4	268.0	1.9	298.0	O ₁	Station M7
2.3	1.2	4.1	324.5	K ₁	30.33N, 123.44E
2.9	85.9	4.3	278.4	N ₂	(depth = 60m)
21.4	70.9	29.3	310.2	M ₂	
7.9	117.6	10.9	351.3	S ₂	

註) 遲角은 局地遲角임

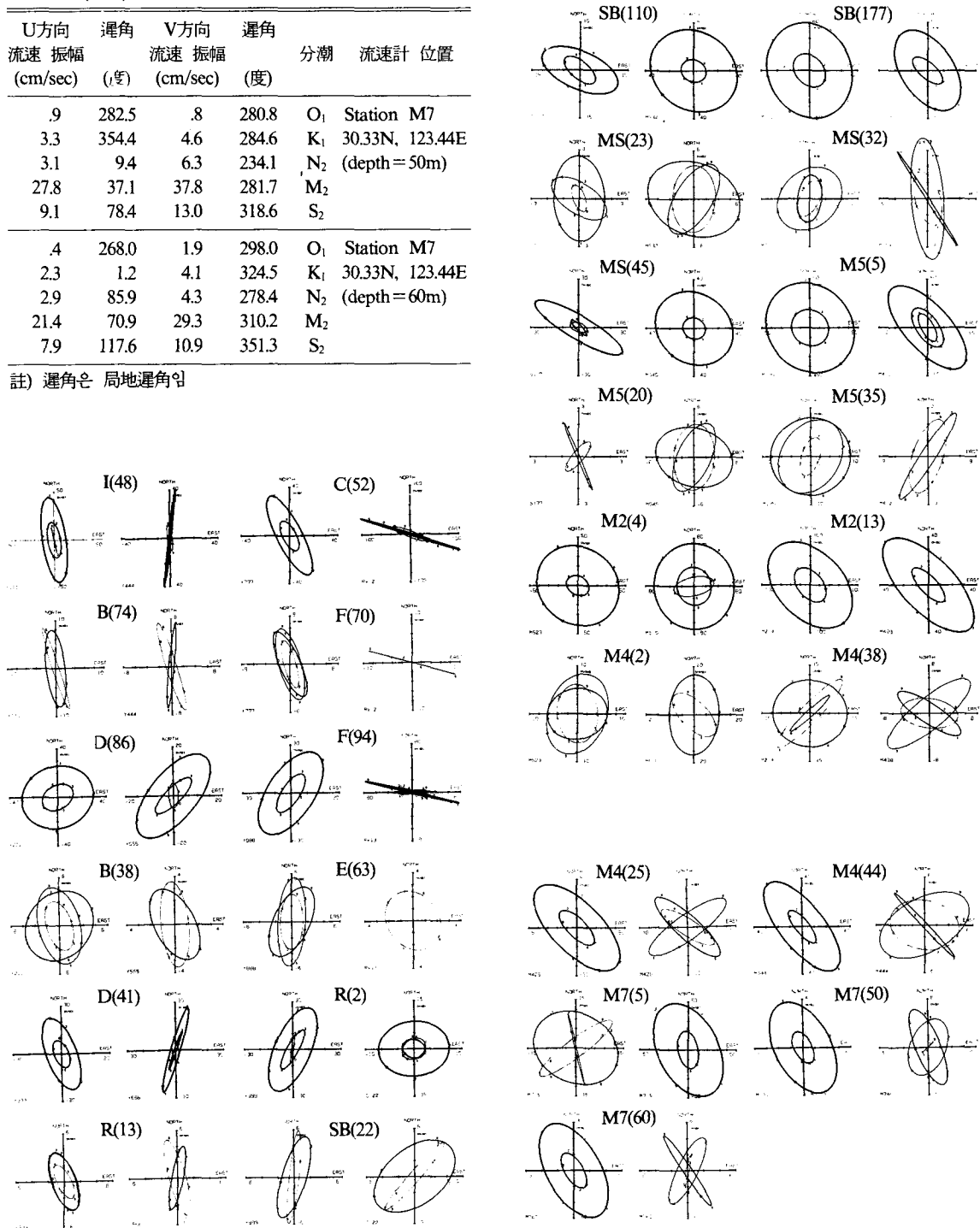


Fig. 3. Tidal current ellipses of the M₂, S₂, N₂, K₁ and O₁ tides at positions shown in Table 2.

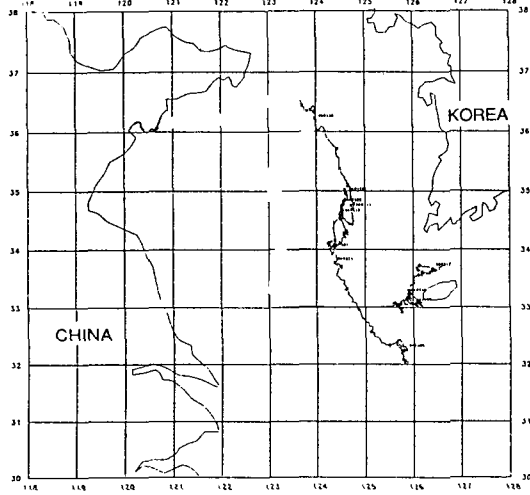


Fig. 4. Track of ARGOS satellite drifter buoys during Jan.-Mar., 1986. The buoys were released from R/V Thomas Thompson during Korea-US-China cooperative cruise.

영향에 대한 逆方向 海流로서 北北西 移動한 것으로 제시되고 있는데 이 海流는 Fig. 5의 經路를 보면 持續인 것인지는 확실치 않다. Fig. 5에서는 黃海中部 海域의 緩速의 反時計方向的 循環과 相對的으로 높은 移動을 보이는 長江河口에서 濟州 및 大韓海峽으로 흐르는 海流가 제시된다. 前者는 黃海 內域이 상대적으로 높은 潮汐에너지 環境이나 潮汐恒流 循環에 있어서는 微弱한 反時計方向的 循環을 제시하며 後者의 경우는 2個月에 600 km를 平均速度 11.6 m/sec로서, 津輕海峽까지 이동되었다. 1988年 觀測結果인 Fig. 6 및 Fig. 7은 季節에 관계없이 濟州南方의 海流가 大韓海峽 西水道를 통해 흐르는 것이 제시되나 Fig. 7의 경우 東海岸 南端에서 廻流하는 것은 인근의 無潮點에 의한 反時計方向的인 潮汐波及의 영향으로도 생각된다. 韓國 海洋研究所(1992)는 全世界海域循環實驗(WOCE/TOGA)의 表層流速 프로그램에 참가하여 1991年 7월에 3개의 부표와 1992年 4월에 역시

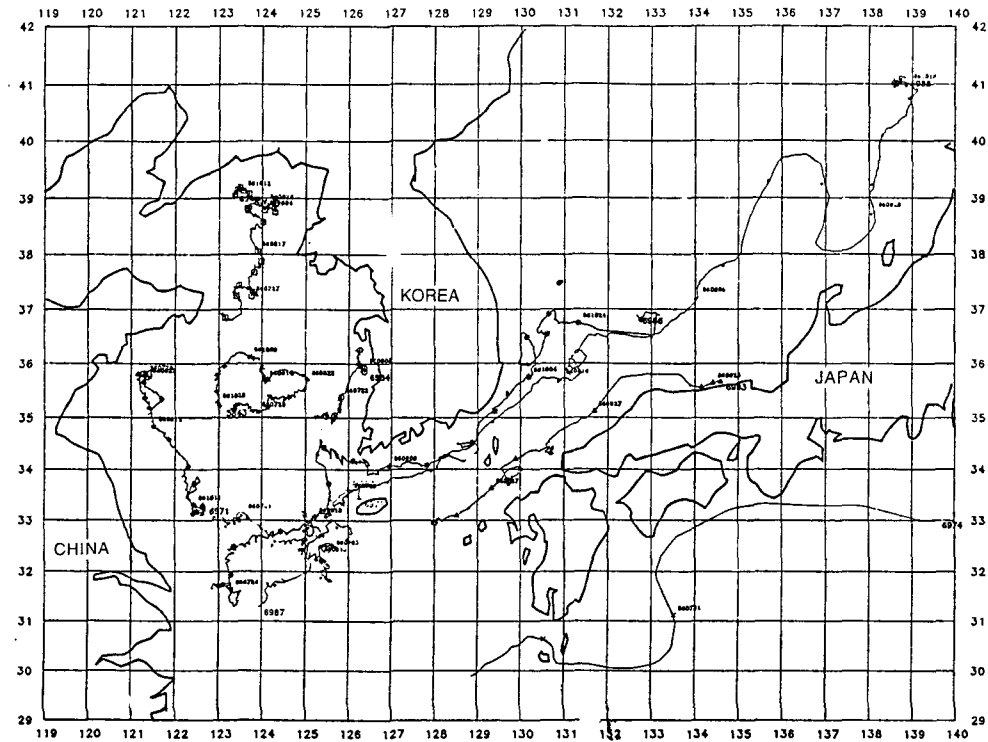


Fig. 5. Track of ARGOS satellite drifter buoys during Jul.-Oct., 1986. The buoys were released from R/V Thomas Washington during Korea-US-China cooperative cruise.

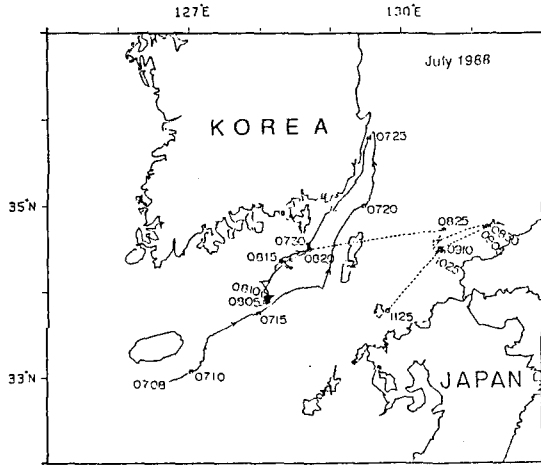


Fig. 6. Track of ARGOS satellite drifter buoys during July, 1988.

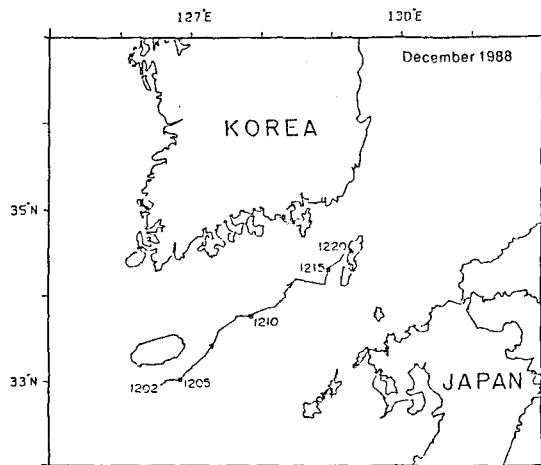


Fig. 7. Track of ARGOS satellite drifter buoy during December, 1988.

3개의 浮標을 日本 九州 西側海域에 投下시켰다(Fig. 8). 利用된 浮標은 WOCE 標準型浮標로서 經路는 複雜한 時空的 變化를 보인다.

2.3 ADCP

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)는 散亂體가 媒質의 移動(海流)에 의해 Doppler 效果를 발생시켰을 때 海流의 流速과 流向을 알 수 있도록 考案된 一種의 다중빔 소나(multi-beam sonar system)인데 大氣의 氣流測定용으로 開發된 Doppler Radar의 原理를 應用한 것이다. 海水中에 入射된 音波는 海

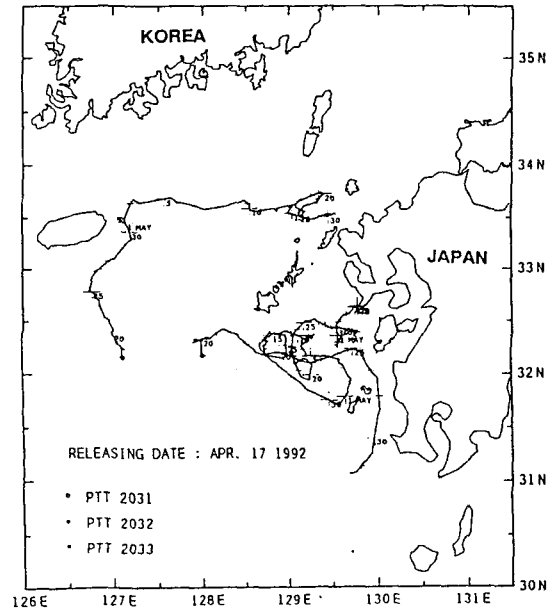


Fig. 8. Track of three ARGOS satellite drifter buoys during April-May, 1992 (海洋研究所, 1992).

流에 의해 밀려가는 浮游粒子나 플랑크톤 등 自己游泳能力이 작은 産卵體에 入射되어 散亂을 일으키며 同時 doppler 效果에 의한 周波數의 變位가 발생한다. 이때 發生하는 周波數變位는 海流의 移動速度에 따라 달라지게 되므로 逆으로 周波數 變位에서 海流의 速度를 구할 수 있다. 1986年 1月 期間 冬季의 海洋觀測活動中 University of Washington의 R/V Thomas Thompson의 船底의 附着된 RD사의 ADCP에 의한 航海全期間을 통한 資料가 확보되었는데 航海軌跡이 Fig. 9에 제시되어 있다. 이 때 利用된 RD社 ADCP는 水深 700m까지의 觀測이 128개의 depth cell(cell 크기 1-32 meters)에 의해 可能하고 水深이 이 範圍內일 境遇는 航海速度修正을 入力하지 않고서도 自動으로 sensor에 의해 修正되도록 設計되어 있다. 資料收錄 및 實時間 플롯트는 IBM PC에 의해 이루어지는데 RS-422 interface로 連結되었다. ADCP에의 觀測된 垂直流速 分布는 潮流成分을 包含하고 있으므로 效果的인 潮汐除去 方法이 近年에 提示되기 始作하고 있는데 潮汐 數值模型에 의한 潮流豫測值를 除去하는 方法(Foreman과 Freeland, 1991)과 ADCP 資料에 直接 least square polynomial or biharmonic spline fitting을 시켜 空間的으로 變하는 主分潮의 크기와

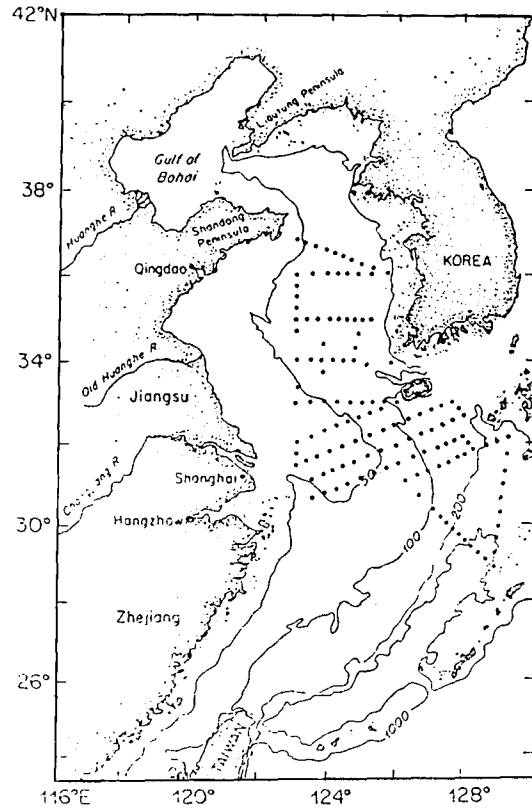


Fig. 9. Ship track of R/V Thompson in January 1986.

恒流의 크기를 결정하는 방법(Candela 등, 1992)이다. Canadela 등(1992)은 後者의 方法을 採擇하여 1986年 1月 期間의 Thompson號의 部分的인 ADCP 資料를 效果의 爲로 處理하여 黃海南側 海域에서의 潮汐成分을 除去하여 恒流成分의 空間的 分布를 提示하였다(Fig. 10). 現在 海洋研究所에서 數臺의 ADCP(船底型 및 曳引型)와 海洋警察廳의 曳引型 ADCP가 導入되어 運用되기 始作하고 있어 韓國 沿海의 時空的인 正確한 潮流豫報模型의 必要性이 增大되고 있다. 특히 海洋研究所는 大韓 海峽에서의 曳引型 ADCP 觀測을 數年間 繼續해오고 있는데 1992年 1月 進水된 1400톤의 研究船 온누리號에는 船底型 ADCP를 장착하고 있어 遠洋에서의 ADCP 觀測活動도 앞으로 活潑해 질 전망이어서 資料의 效率的인 處理 및 運用體系가 時急하다.

2.4 海底通信電線에 의한 電壓測定

Faraday의 法則에 의해 海峽 사이를 흐르는 海水는

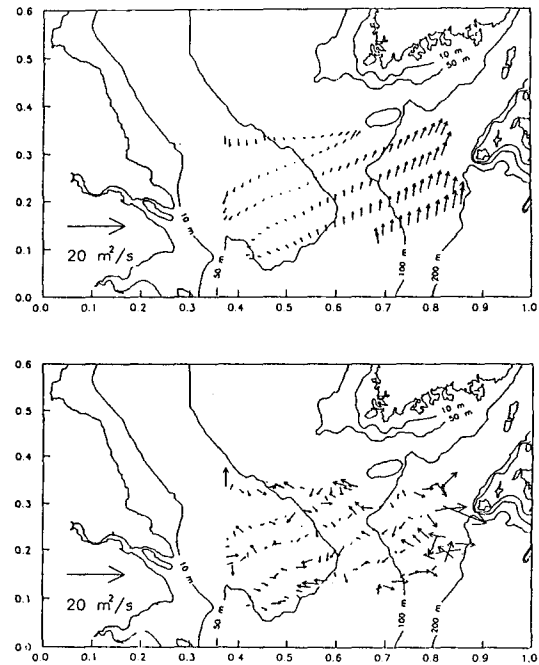


Fig. 10. Tide removed residual transport from ADCP data from R/V Thompson cruise (Candela et al., 1992).

地球의 磁氣場에 作用하게 되어 이때 發生되는 電磁氣力이 海水 등에 電氣 포텐셜 差를 誘發시키게 된다. 이 포텐셜 差를 海底通信 케이블의 兩端에서 觀測하여 海峽을 통해 흐르는 海水의 流動量을 決定하는 研究가 20세기 中半부터 英佛間, 美國 Florida 海峽 等地에서 繼續되어오고 있다. 大韓海峽에서의 電壓測定은 成均館大, 서울大와 九州大 應用力學研究所가 長期 協力 研究로서 韓國通信公社의 支援下에 日本 釜田에서는 1987年 7月부터 觀測이 始作되고 있으며 釜山 松亭 陸揚局에서는 1990年 3月부터 觀測을 遂行하고 있는데 九州大는 對馬島 南側에 定期的인 海流觀測을 遂行하였으며 서울大는 1990年 5月 11日부터 6月 29日까지 케이블 經路 中間地點에서 RCM-7 流速計를 利用한 海流觀測을 遂行하였다. Fig. 11은 釜山 釜田間의 케이블 經路와 觀測된 電壓變動記錄의 一部를 提示하고 있다. 앞으로 電壓變動量과 輸送量과의 信賴性 있는 相關關係가 樹立되면 이 通信 케이블은 大韓海峽에서의 海洋學的인 流量計로서의 役割을 遂行할 수 있을 것이며 또한 東海의 循環力學을 糾明하는 數值模型에 信賴性 있는 入力資料를 提供할 수 있기를 期待한다.

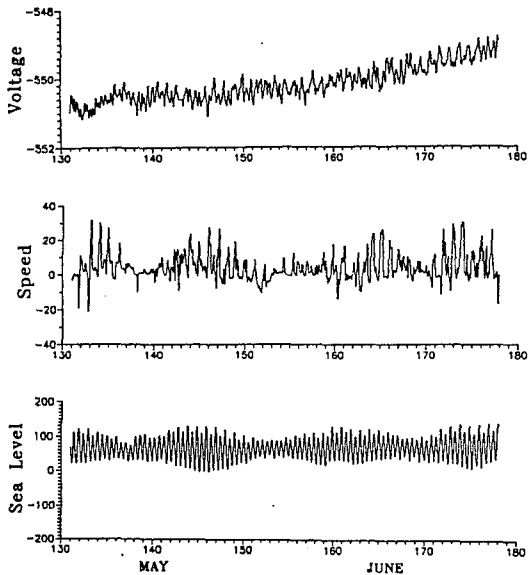


Fig. 11. Time series of the filtered voltage, north-south speed measured by RCM7 and sea level change at Pusan during May 11 to June 26 (Choi et al., 1992).

3. 海流의 時空的 變化度

陸棚에서의 海流는 數秒에서 數百日의 週期 範圍를 갖는데 潮汐과 같은 明確한 週期性을 갖는 現象과 相對的으로 不明한 周波範圍를 갖는 氣象的인 要素와 熱鹽效果에 의한 現象들이 있다. 黃海 및 東中國海는 海洋物理的 成分 및 舉動이 時空的 變化가 甚한 海洋體系이다. 이 陸棚海의 主가 되는 動的要素는 潮汐, 海面風 및 黑潮(Kuroshio)인데 그 중 潮汐現象은 가장 複雜한 樣相을 띠운다. 東中國海陸棚體系에서 海水循環 및 潮汐循環은 海水溫度 및 제한된 海洋資料에 의해 推論된 Uda의 循環概略圖(Fig. 12) 및 Ogura의 潮流圖(Fig. 13)에 의해 定性的으로 說明되어 왔다. 이 陸棚海의 높은 潮汐에너지 環境에도 不拘하고 沿岸을 제외한 黃海全體의 恒流循環은 상대적으로 微弱한 反時計方向的 循環인 것이 Uda의 觀測이래 提示되고 있으며 이는 數值模型 算定結果 및 衛星追跡 浮漂에서도 確認되고 있다. 遼東 및 山東 半島沿岸은 突出地形 影響에 의한 渦流가 形成되며 西韓灣에서 強한 時計方向 渦流와 京畿灣에서 反時計方向的 渦流, 韓半島 남쪽의 西側海域에서는 一般적으로 北側恒流가 陸棚 數值模型에서는 算定되지만 자세한 觀測에 의한

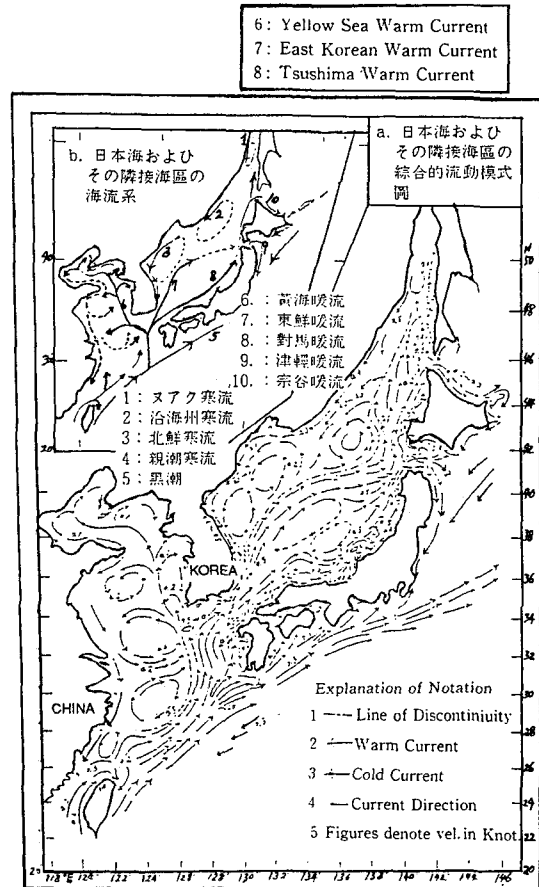


Fig. 12. Current circulation in the Yellow Sea, East China Sea and East Sea (Japan Sea) (Uda, 1934).

檢證은 이루어지지 못했다. 既 提示된 1986年 1月과 7월에 各己 黃海上에 投下된 ARGOS 衛星追跡 浮漂의 軌跡을 参照하면 冬季인 1월에 投下된 濟州道 西側의 浮漂는 3個月 동안 濟州海峽에 머물다 濟州 北側 翰林港에 坐礁하였으며 北緯 35度 및 34度 30分에 投下된 두개의 浮漂로 北向 및 南向으로 分岐되어 移動하였는데 1월중의 優勢한 北西 季節風을 고려할 때 黃海內域에서는 오히려 逆流方向으로 이동된 것을 확인할 수 있는데 이는 前回の 數值模型實驗(Choi and Suh, 1992)에서도 보고된 바 있다. 夏季狀況은 바람의 影響보다 潮汐循環이 優勢한 것으로 생각되는데 山東半島 東側의 浮漂는 北上하였으며 黃海中 部의 浮漂는 3個月期間에 걸친 反時計方向的 緩速의 移動을 하였으며 山東半島 南側의 浮漂는 南東方向의 移動을 하였다. 韓國 西海岸 北緯 35度上에 投下된

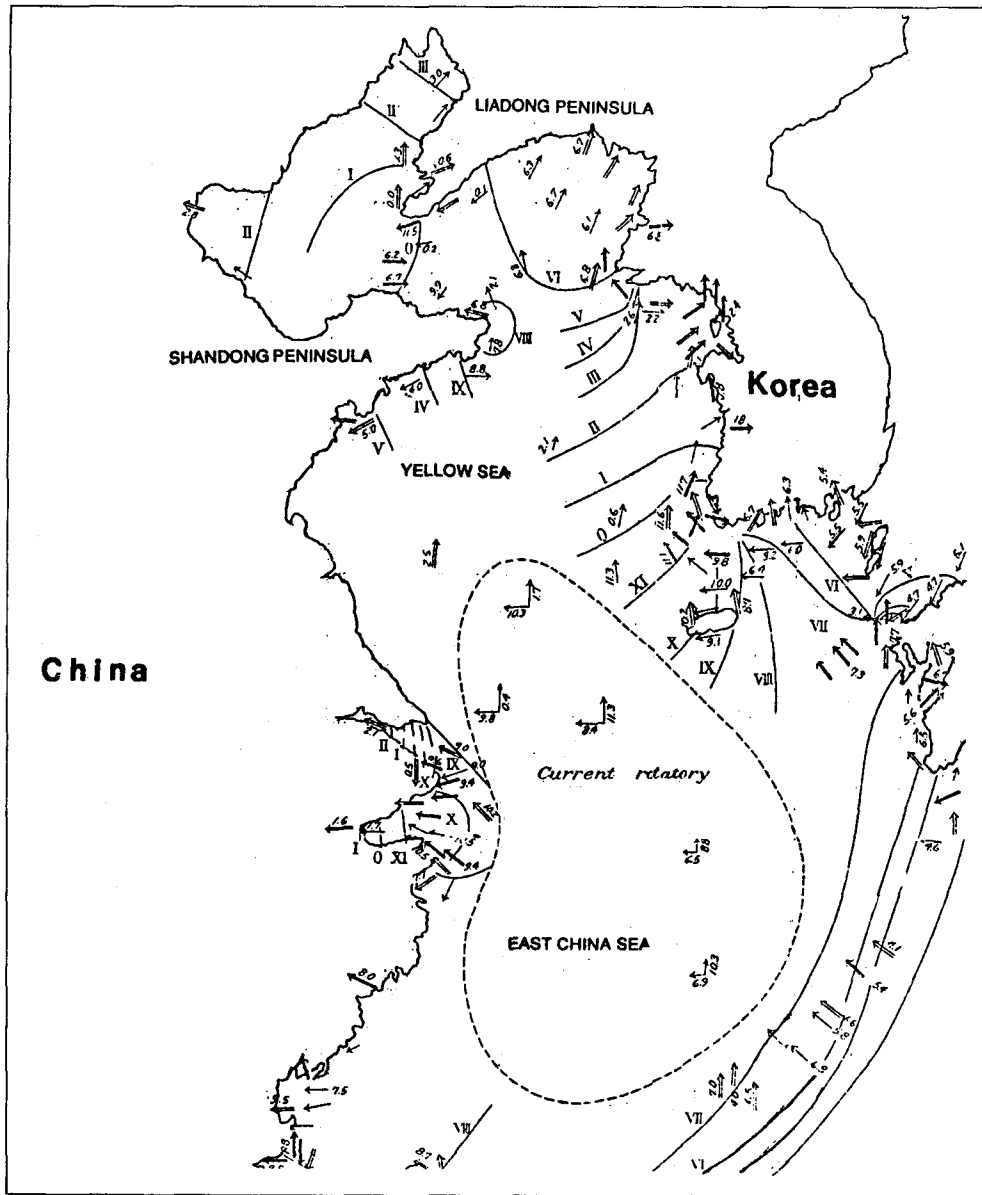


Fig. 13. Tidal current map of Ogura (1933).

浮漂는 1個月 정도의 北東方向의 移動을 하다 古群山群島에 坐礁되었다. 中國 長江 河口外側의 北緯 31度와 32度 사이에 投下된 浮漂는 東北東方向의 빠른 移動에 의해 濟州海峽을 通過하고 다시 大韓海峽을 통해 津輕海峽 근처인 東海上의 北緯 43度까지 3個月期間에 移動하였다. 現在까지 制限된 觀測으로서는 局地的인 潮汐循環은 複雜한 樣相을 보이고 있으며 黃海內域에서는 東中國海에 비해 상당히 微弱한 것과

北緯 37度上의 循環도 季節에 關係없이 北側移動이 優勢한 것이 提示된다.

4. 結 論

黃海內域이 高에너지 潮汐環境에도 不拘하고 潮汐이 全體的으로는 優勢한 flushing mechanism이 되지 못하는 것이 直接的인 觀測結果로서도 提示되는데

海面應力에 의한 時間平均된 流量이 黃海 體系全體의 flushing에는 季節的으로 相當한 役割을 할 것으로 생각된다. 잘 알려진 黑潮(Kuroshio)는 陸棚外側에의 西岸流로서 日本列島에 沿하여 太平洋으로 흐르는 가운데 北上 分枝되어서 大韓海峽을 통해 東海로 流入되는 것으로 알려져 있으나 實際에 있어 未洽한 現場觀測資料 때문에 아직도 그 經路가 明確하게 確認되어 있지 못해 비로소 仔細한 直接觀測이 始作되고 있다. 檢討된 바와 같이 黃海·東中國海의 海流觀測은 전혀 觀測되지 않은 重要한 海域이 많으며 期間이 대부분 1個月 以內이다. 短週期 波浪에 의한 입자속도가 큰 경우에 적절한 海류관측이 어려운데 이러한 점은 극복할 수 있는 VMCM 海류계의 운용과 信賴性 있는 資料의 共同利用이 이 海域의 豫報模型의 開發을 위해 必要한데 沿岸開發을 위한 技術用役事業의 觀測時에의 海流觀測은 科學的인 目的으로는 適合치 않게 짧은 觀測이 遂行되고 있다. 이 海域의 循環을 解明하기 위한 直接海流 觀測프로그램이 繼續되고 擴大되어야 하는데 陸棚端에서의 黑潮學動을 알기 위한 長期海流觀測은 遂行되고 있으나 陸棚內域에서의 努力은 相對的으로 未洽하다. 陸棚全域에서의 表面海水循環은 ARGOS 衛星追跡浮漂의 廣範圍한 運用과 더불어 沿岸海域에는 1980年 後半부터 世界的으로 利用되기 시작, 高周波 레이더에 의한 表層海流觀測法 역시 1992년 11월에 試驗의 觀測이 成功的으로 遂行된 바 있어(CODAR Ocean Sensor, 1992) 각종 現代的인 機器를 利用한 海流觀測이 黃海 및 東中國海에서 앞으로 활발해질 전망이다.

謝 辭

本 研究는 科學技術處 支援 國策課題 “黃海의 海洋資源開發研究”의 一環으로 韓中協力課題인 黃海海洋圖의 作成을 위한 過程으로서 遂行된 바 總括研究 責任者(仁荷大 이영철 교수)를 통한 研究支援이 있었다. Fig. 6, 7은 서울대학교 海洋學科의 金 坵 教授, Fig. 8은 韓國海洋所의 李興宰 博士로부터 提供받은 바 이에 謝意를 표한다.

參考文獻

Candela, J., Beardsley, R. and Limeburner, R., 1992. Sepa-

ration of tidal and subtidal currents in ship-mounted Acoustic Doppler Current Profiler observations, *Journal of Geophysical Research*, **97**(C1): 769-788.

Choi, B.H., 1989. A fine-grid three-dimensional M₂ tidal model of the East China Sea, *Modeling Marine System*, Vol.1, (ed) Davies, A.M., CRC Press Inc.

Choi, B.H. and Suh, K.S., 1992. Computation of meteorologically-induced circulation on the East China Sea using a fine grid three-dimensional numerical model, *J. Korean Soc. of Coastal and Ocean Engineers*, **4**(1): 45-48.

Choi, B.H., Kim, K., Kim, Y.G., Bahk, K.S., Choi, J.O. and Kawatate, K., 1992. Submarine cable voltage measurements between Pusan and Hamada. *La Mer*, **30**: 157-167.

CODAR Ocean Sensors, Ltd., 1992. Kunsan Bay SeaSonde surface-current demonstration and analysis, Data Period: November 15-19, 1992, Report submitted to KORDI.

Foreman, M.G.G. and Freeland, H.J., 1991. A comparison of techniques for tide removal from ship-mounted Acoustic Doppler measurements along the southwest coast of Vancouver Island. *Journal of Geophysical Research*, **96**(C9): 17007-17021.

Fukase, S., 1970. Explore the East China Sea. *Inspace* **11**: 4-11. (in Japanese).

Harkema, R. and Hsueh, Y., 1987. A compilation of moored current meter data in the Eastern Yellow Sea. January-April. 1986. Tech. Rep. CMF-87.01. Department of Oceanography, Florida State University, Tallahassee.

Inaba, H., Kawatate, K., Futi, H. and Sato, M., 1981. Current measurements in the East China Sea, In *Physical Oceanography and Marine Engineering in the East China Sea*. pp.95-117, Special Report of Institute of Oceanic Research, Tokai University.

Kaneko, A., Byun, S.K., Chang, S.D. and Takahashi, M., 1991. An observation of sectional velocity structure and transport of the Tsushima current across the Korea Strait. In *Oceanography of Asian Marginal Seas*, (ed) Takuno, K., Elsevier, Amsterdam, 179-195.

Kawatate, K., Tashiro, A., Ishibashi, M., Shinozaki, T., Nagahama, T., Kaneko, A., Mizuno, S., Kojima, J., Aoki, T., Ishimoto, T., Choi, B.H., Kim, K., Mitla, T. and Ouchi, Y., 1991. A cross-spectral analysis of small voltage variation in a submarine cable between Hamada and Pusan with speed variation of the Tsushima Warm Current, In *Oceanography of Asian Marginal Seas*, (ed) Takano, K., Elsevier, 207-222, 1987.

Kim, K., 1988. Hydrography and Currents in the Yellow Sea and the northern East China Sea, in *Proceedings of Symposium on Development of Marine Resources and International Cooperation in the Yellow Sea and the East China Sea*, (ed) Go, Y.B., Cheju University.

Kondo, M., Tamai, K., On the currents in the East China Sea *Marine Sciences*, **7**(1): 27-33. (in Japanese).

Larsen, L.H., Cannon, G.A. and Choi, B.H., 1985. East Sea tide current. *Continental Shelf Research*, **4**(1/2): 77-103.

Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries

- in the East China Sea and the Yellow Sea, *J. Fac. mar. Sci. Technol.* Tokai University.
- Ogura, S., 1933. The tides in the seas adjacent to Japan. Bulletin of the Hydrographic Department, Imperial Japanese Navy, Vol.7, 189p.
- Trump, C.L. and Burt, W.V., 1981. Wintertime current measurements from the East China Sea. *J. Phys. Oceanogr.* 11: 1300-1306.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June 1932. *J. Imp. Fish. Exp. St.*, 5: 47-190.
- U.S. Naval Oceanographic Office, 1972. Current Data Reports (unpublished), Nearshore Survey Division, September, 1972.
- Wells, J.T. and Huh, O.K., 1984. Fall-season patterns of turbidity and sediment transport in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea. In *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, the Netherlands, 387-397.
- Zhou, Tianhua, 1987. A case analysis for long-term current observation, 黃渤海海洋, 第5卷.
- 韓國海洋研究所, 1985. 韓國海域綜合海洋資源作成研究-黃海, 科學技術處, BSPE00055-86-7A.
- 韓國海洋研究所, 1992. Kuroshio海域에서 海況變動研究(I)-世界海洋大循環實驗 表層流計劃 韓國海洋研究프로그램(2次年度)-BSPG00168-473-1.