

감천항의 해수유동 특성⁺

김 기 철* · 김 재 중* · 장 필 훈**

Flow Characteristics of Gamcheon Harbour

K. C. Kim · J. J. Kim · P. H. Chang

Key Words : 반폐쇄만(Semi-closed Bay), 유동경향(Flow Pattern), 밀도류(Density-driven Current), 풍성류(Wind-driven Current), 온배수(Warm Water Discharge)

Abstract

Gamcheon Bay has complicated and unique flow pattern which is affected by topography characteristics of a semi-closed bay and warm water discharge from the power plant located at the bay. It is very important to consider warm water discharge with tidal period and wind effects, which are mainly acting on the surface flow patterns in Gamcheon Bay.

The results of observation show as follows: i) Because Gamcheon bay has much elongated shape to the north-south direction and narrow entrance with two separated breakwaters, the flow is very weak inside the bay. ii) The main flow path is at the west side of the bay. The direction of flood current is northward along the west side of the bay and the direction of ebb current is southward along the west side of the bay. The southward direction of warm water discharge has curved to the west side of the bay. iii) At the period of flood current for neap tide, the flow direction is southward in the bay, which is thought by the effects of warm water discharge. But at the bottom layer, the effects of tidal current reached to the middle of the bay, and showed features like eddy. iv) The wind effect is very strong, especially, prominent in the west and east side of the bay.

+ 이 논문은 1997년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음

* 정회원, 동아대학교 토목·해양공학부 교수

** 동아대학교 공과대학 토목·해양공학부

1. 서론

항만은 물류 및 생산활동의 중심지로 특성상 오염이 쉽게 가중될 수 있는 곳이다. 대부분의 항만은 외해에서의 높은 파가 항내로 전파되는 것을 막기 위해 외해 경계에 방파제를 설치하여 반 폐쇄만의 특성을 가지고 있다. 반 폐쇄만에서는 외해와의 해수교환이 방파제 사이의 좁은 입구를 통해 이루어지므로 외해를 통해 유입되는 조류의 영향이 약하고 항만내의 지형특성, 바람, 강수나 온배수 등의 밀도가 다른 물의 만내로의 유입 등이 만내의 해수유동을 결정짓는다. 항만의 오염방지를 위해서는 이러한 항만내의 해수유동 특성을 정확히 분석하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 반 폐쇄만의 특성을 가지고 있는 감천항을 선정하여 해수유동 특성을 밝히고자 한다.

감천항은 부산의 감천만에 위치하고 있다. 감천항은 남북으로 약 4km, 동서로 약 0.9 - 1.7km의 길이를 가지는 남북으로 길게 뻗은 형상을 하고 있다 (Fig. 1). 만내의 수심은 방파제 부근을 제외하

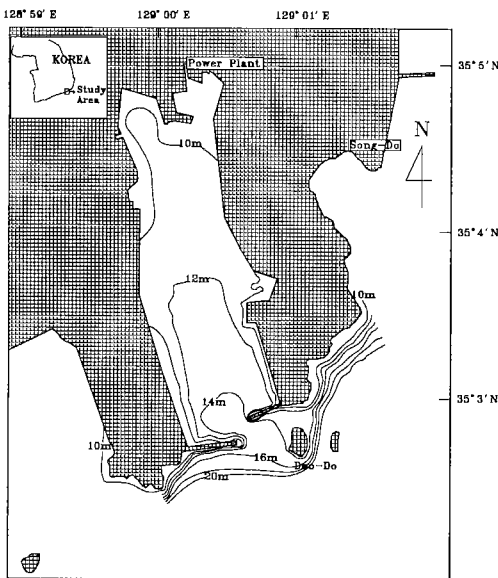


Fig. 1 Bathymetry of Gamcheon bay

고는 변화폭이 적고 평균 12m 정도이다. 남쪽 외해 경계에 2 개의 방파제가 있고 그 사이 약 250m 정도의 입구로 외해와 내만의 해수가 교환되고 있어 전형적인 반 폐쇄만의 특징을 보인다. 북쪽경계에는 화력발전소가 위치하고 있고 이 곳에서 약 3,400m³/일의 비교적 많은 양의 온배수가 방출되고 있어 만내 해수와 밀도가 다른 밀도류를 형성하여 만내 해수유동에 중요한 영향을 끼치고 있다(한국 전력공사, 1990).

본 연구에서는 관측자료를 중심으로 반폐쇄만의 특징을 가지는 감천항만의 유동특성을 파악하고자 하였다. 이를위해 외해에서 유입되는 조류, 바람, 온배수 등이 해수유동에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 자료 및 방법

조사지역은 만내 안쪽에 위치한 배출구로부터 반경 5km이내의 감천만내 및 외해에서 조사하였고, 조사시기는 6차에 걸쳐 계절별로 실시하였다. 조사시기는 Table 1에 나타내었다. 조사시기의 감천만내에서의 조석은 1차와 5차시기는 소조시이며, 2차 3차 4차 6차는 조석의 영향이 비교적 강한 대조시이다.

자료의 수집은 감천만의 해조류와 수온의 분포에 초점을 두어 실시하였다. 조사지역의 해조류는 기본적으로 라그랑지언 방법과 오일리언 방법을 적용하여 측정하였다. 온배수가 조사해역에 미치는 영향을 살피기위해 수온 등과 같은 해수의 특성을 조사하였다. 그리고, 각각의 조사는 조석의 영향을 고려하여 실시하였다.

2.1 해수유동의 측정

창조시와 낙조시에 만내와 외해의 조류의 유출입 경로를 파악하기 위해 방파제 부근과 외해의 지점에 드로그를 띄워 관측하였고, 만내 전반의 흐름

Table 1 Field measurements in Gamcheon bay

조사시기	일 시	조사시기	일 시
1차(동계)	1996. 2.26	4차(추계)	1996.10.23
	1996. 2.28		1996.10.24
2차(춘계)	1996. 5.17	5차(동계)	1997. 3.14
	1996. 5.18		1997. 3.18
3차(하계)	1996. 7.29	6차(춘계)	1997. 5.23
	1996. 7.30		1997. 6. 4

을 관측하기 위해 배출구에서 방파제에 이르는 만내 여러 곳에서 계절별로 조사지점을 달리하여 실시하였다. 드로그는 자체제작한 베크트형과 커튼형을 사용하였고, 드로그 위치 추적은 30분에서 1시간 정도의 간격으로 GPS를 이용하여 행하였다.

그리고, 정점에서 조류의 시간별 변화는 외해와 만내의 지점들을 선정하고 표층(수면하 1m)과 저층(저면위 1m)에 각각 유속계를 계류시켜서 1조석 주기가상을 관측하여 구하였다. 정점에서 유속과 유향의 측정과 동시에 수온도 함께 측정하여 조사지점의 흐름의 검증자료로 이용하였다. 관측시기와 관측장소는 Fig. 2에 나타내었고, 관측시기의 감천항에서의 조위는 Table 2에 나타내었다.

2.2 해수 특성 조사

만내 안쪽에 위치한 부산화력발전소에서 배출되는 온배수가 항내에 미치는 영향 및 감천만의 물성을 파악하기 위하여, 배출구로부터 만내 외해의 지점들에 걸쳐 수온 염분 등을 조사하였고, 관측지점

을 Fig. 3에 나타내었다. 수괴의 흐름으로 인한 물성의 변화 양상을 파악함으로써 조사해역의 공간적 분포를 알 수 있기 때문에 조석시기에 맞추어 조사하였다. 사용한 장비는 CTD(Conductivity Temperature Depth)이며, 모든 측정은 표층에서 저층까지 1m 간격으로 측정하였다.

3. 분석 및 토의

관측 결과는 우선 대조시와 소조시로 나누어, 조시에 따른 만내의 유동특성을 살펴보고, 이 결과

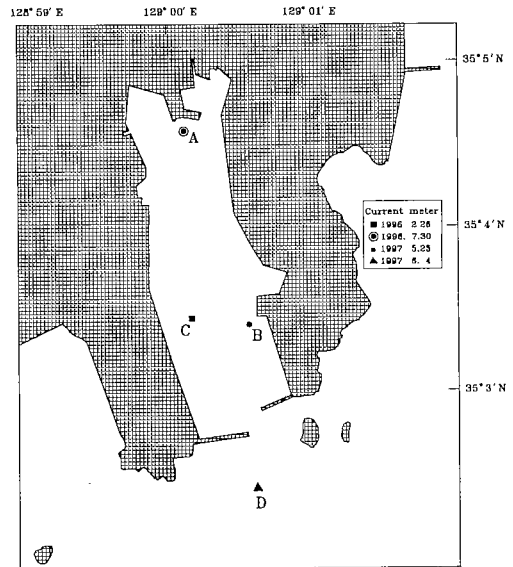


Fig. 2 Current Measurement points in Gamcheon bay

Table 2 List of tidal range

1996. 7.30		1997. 5.23		1996. 2.26		1997. 6.04	
Time (hr:mn)	Height (cm)	Time (hr:mn)	Height (cm)	Time (hr:mn)	Height (cm)	Time (hr:mn)	Height (cm)
01:44	20	02:36	9	00:45	85	01:16	18
08:09	138	08:56	119	06:45	34	07:36	119
13:58	17	14:42	7	12:53	77	13:26	12
20:35	154	21:20	131	18:56	35	20:03	132

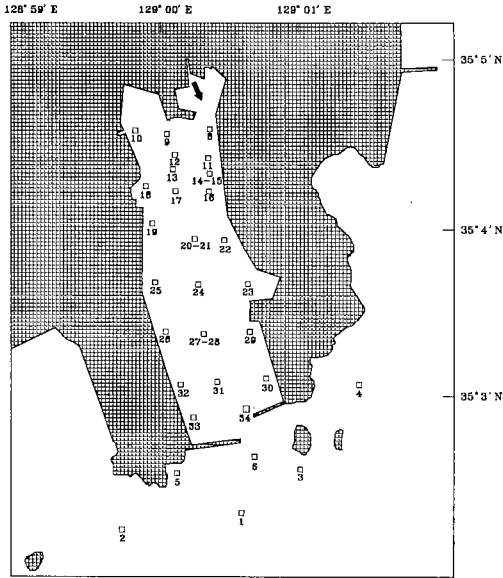


Fig. 3 CTD Measurement points in Gamcheon bay

분석을 통하여 만내의 조류, 온배수, 바람의 특성을 분석 각각을 정리하였다.

3.1 대조시 관측결과

Fig. 4는 하계시인 7월 30일 배출구 입구 부근인 A지점에서 정선관측한 결과를 나타낸 것이다. 먼저 조류가 A 지점에 미치는 영향을 보기위해 다른 요소, 예를 들어 온배수와 바람의 영향을 극소화해 고려할 수 있는 저층에서의 결과를 살펴보았다. 저층은 저조후 2시간인 16시경부터 흐름이 복잡하는, 약 0.2m/sec의 약한 창조의 경향을 살필 수 있었다. 이에 비해 표층은 조사시간 동안 약 0.1m/sec의 불규칙한 왕복성 유동을 보였는데, 이는 평균 5.5m/sec의 남풍이 지속적으로 작용하였고 배출구에서 가까운 A지점에서 표층과 저층의 수온 분포가 약 6°C의 차이를 보이는 것으로 보아 온배수와 바람이 복합적으로 작용하는 결과라 유추할 수 있었다. 이러한 결과들로 배출구 입구 부근인

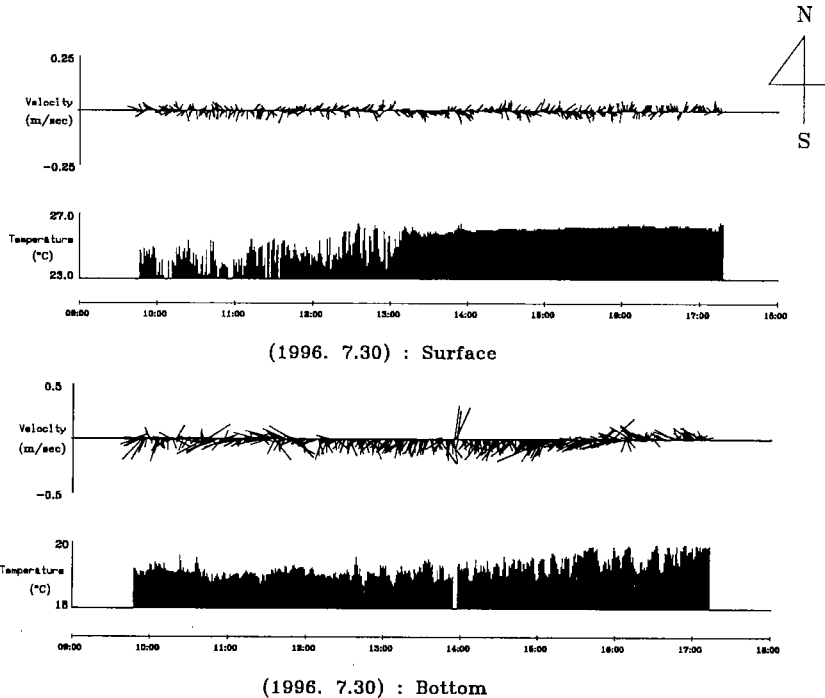


Fig. 4 Time series of observed current and temperature at A (spring tide)

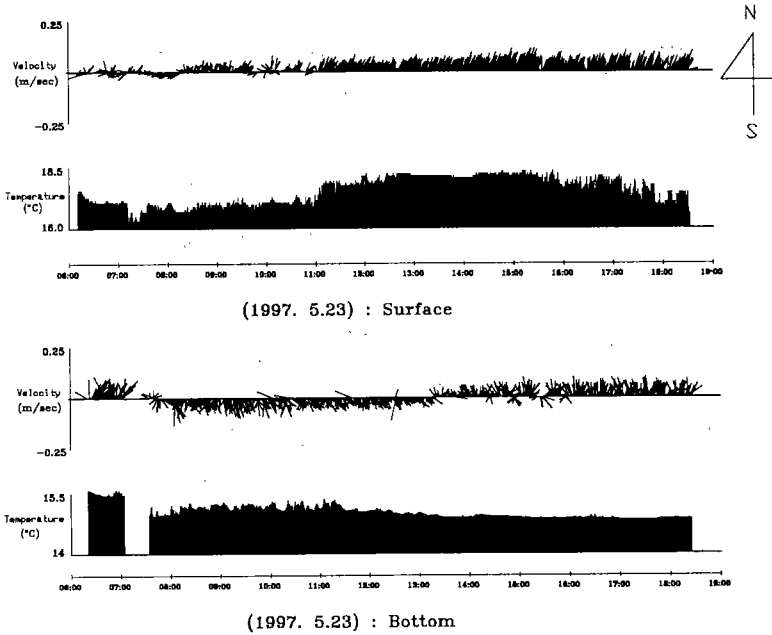


Fig. 5 Time series of observed current and temperature at B (spring tide)

A지점은 표층에서는 온배수와 바람이 두드러진 작용을 하고 있으나, 저층에서는 약한 조류의 영향이 미치고 있음을 볼 수 있었다.

Fig. 5는 만내의 동안인 B지점에서 정선관측한 결과로서, 표층의 경우 낙조시이지만 흐름이 복잡하여 조시와는 무관한 반면, 저층은 거의 조시에 일치하였다. 표층에서 11시경부터 유동의 방향이 일정하고, 유속도 크지는 것을 볼 수 있는데, 이는 약 8.0m/sec의 강한 남서풍의 영향으로 사료된다. 또한 남서풍이 강하게 불기 시작한 11시경부터 수온도 약 18.5°C로 갑자기 증가하였는데, 이는 서편의 수위가 동편보다 수온이 높다는 점을 지적한다 하겠다. 저층의 경우, 조류의 방향은 거의 조시에 일치하나, 유속은 약 0.1m/sec로 만의 안쪽인 A지점보다 오히려 약함을 알 수 있었다. 이상에서 동안의 B지점은 전반적으로 유속이 약하고, 특히 표층의 경우 바람의 영향을 크게 받는다고 할 수 있다.

Fig. 6은 만내와 외해의 조류를 비교하고, 외해

에서 조류의 주된 유동경로를 파악하기 위하여 방파제의 남쪽인 D지점에서 ADCP(Acoustic Doppler Current Propiler)를 이용하여 정선관측한 결과이다. D지점에서의 수심별 조류관측 자료를 보면, 저조와 고조가 약 20분 정도 빨리 일어나는, 거의 조석과 일치하는 흐름으로 썰물시인 8시경부터는 조류가 D지점을 경유하여 동북쪽 방향인 두도 부근으로 흐르고 있으며, 창조시인 13시경부터는 다시 남서쪽으로 흐르는 유동경향을 보이고 있었다. 또한 저층에서의 최강유속이 약 0.5m/sec였고, 평균 0.15m/sec의 유속을 가진 만내의 유속보다 훨씬 큰 점으로 미루어, 만내로의 조류의 전파가 원활하지 못함을 짐작할 수 있었다.

5월 17일, 낙조시인 11시경부터 배출구 입구에서 추적한 드로그 자료(Fig. 7)를 보면, 4m/sec의 서풍이 불었음에도 불구하고 서안쪽으로 편향하여 남하하는 현상을 보였다. 그리고 창조시인 14시 40분경부터 추적한 드로그 자료는 북북서 쪽으로 이동하다 15시 45분경에 만의 중앙부에서 다시 남하하

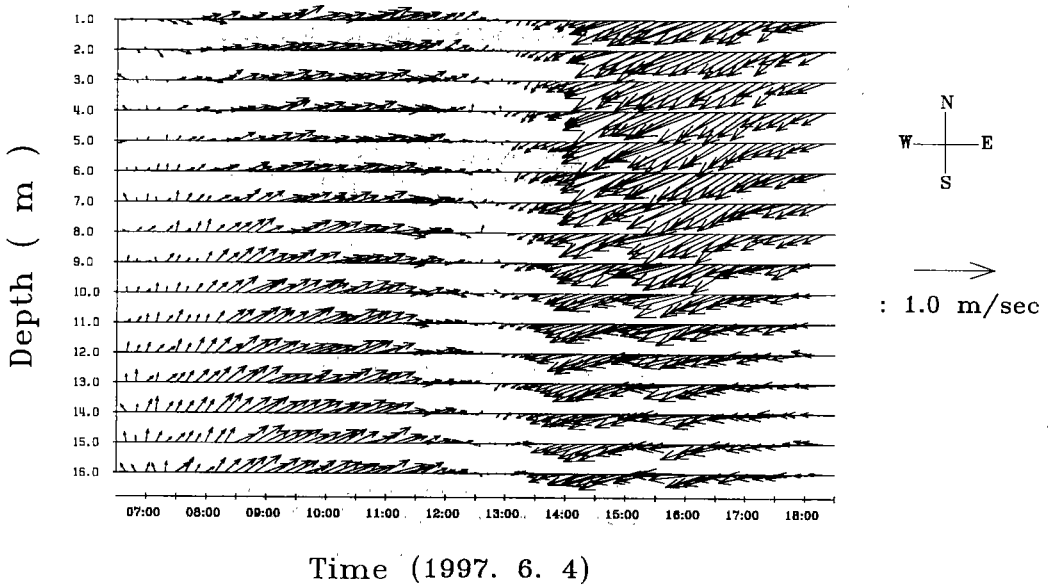


Fig. 6 Time series of observed current in D (Spring tide)

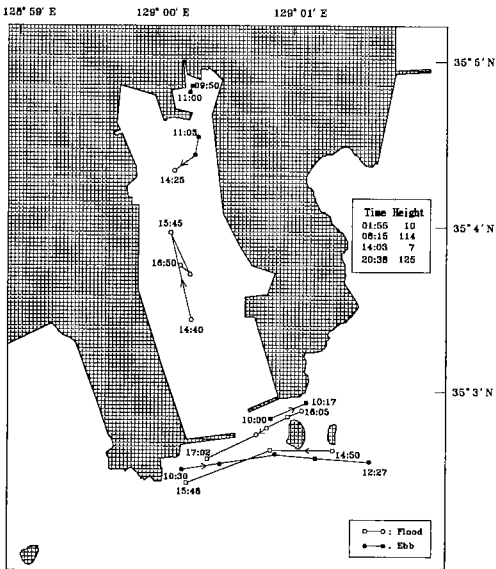


Fig. 7 Drogue tracking lines in spring tide (1996. 5. 17)

는 양상을 보이고 있다. 다음의 Fig. 8의 드로그 자료나, Fig. 10의 수온 분포도와는 다소 차이를 보이는데, 이는 Fig. 8과 Fig. 10의 경우 모두 남풍의 영향이 존재하였던 시기였으나, 5월 17일의 드로그 추적지는 서풍이 주로 작용하였던 결과로 여겨진다. 이는 바람의 영향이 만의 유동에 중요한 영향을 미치고 있음을 유추할 수 있게 한다.

한편, 외항의 자료는 D지점에서의 정선 관측결과 (Fig. 6)와 같이 낙조시는 서쪽방향으로, 창조시는 동쪽방향으로의 유동경로를 보이며 관측시간당 이동거리를 볼 때, 만내에 비하여 유속도 강함을 알 수 있다.

6월 4일, 창조시인 13시경 이후로 동안과 서안에서 추적한 드로그 추적한 결과(Fig. 8), 동안과 서안 모두 북상하는 흐름을 보였으며, 이동의 폭도 비슷했다. 이 시기 평균 4.5m/sec의 남풍이 우세했고, 조시 또한 창조시임을 고려할 때, 북상하는 유동은 바람과 조류의 영향으로 보인다. 서안에서

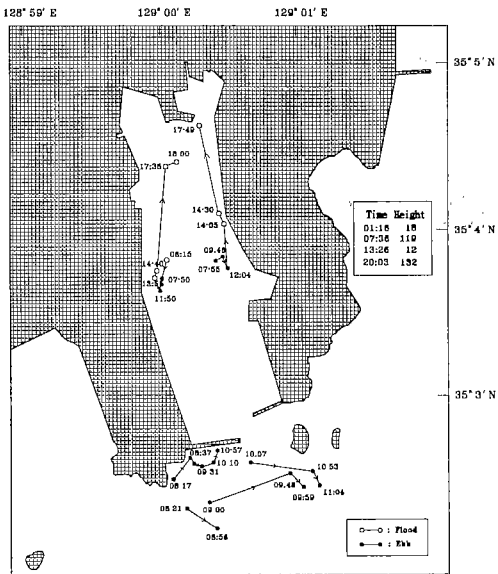


Fig. 8 Drogue tracking lines in spring tide (1997. 6. 4)

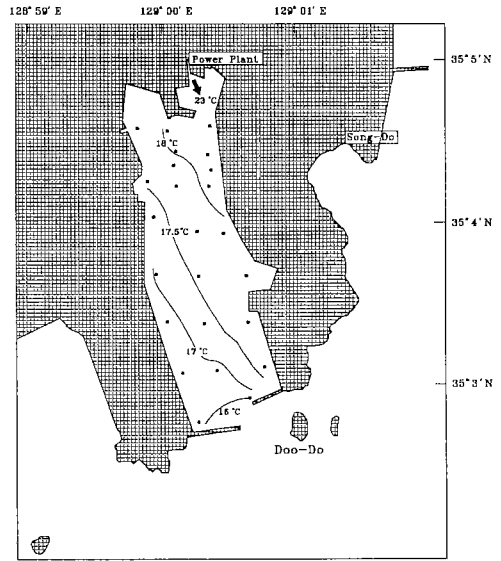


Fig. 10 Surface temperature distribution of flood flow in spring tide

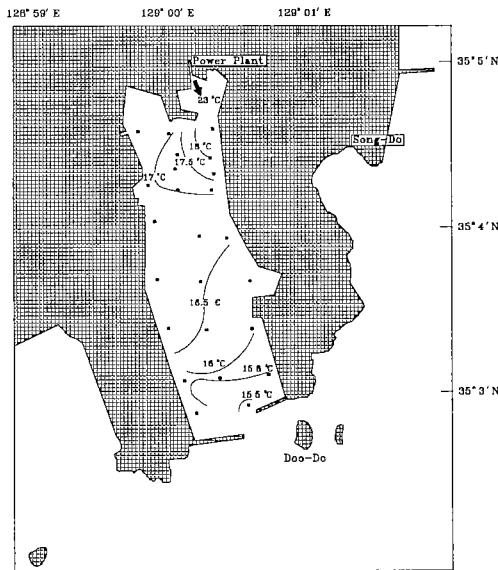


Fig. 9 Surface temperature distribution of ebb flow in spring tide

17시 36분 이후의 드로그 추적결과는 배출구 입구 쪽인 북동쪽으로 편향하여 이동한 것으로 나타났는데, 이는 낙조시 조사한 드로그 추적결과(Fig. 7)와 수온 분포도(Fig. 9)와 같은 양상으로 만내의 해수의 유동경로가 낙조시 배출구 입구에서 서안쪽으로 편향하고, 창조시 서안에서 배출구 입구쪽으로 편향하여 북상함을 말해준다. 그리고 외항에서 9시경에서 11시경 사이에 관측한 자료에서 낙조시의 유동은 동북방향으로 향하다가 다시 두도 부근에서 남동쪽 방향으로 향하는 조석과 일치하는 흐름을 보이고 있었다.

5월 18일의 만내의 수평 수온분포도(Fig. 9)를 보면, 낙조시의 만내의 전반적인 유동경로와 만내에 유입되는 조류의 전파 방향을 알 수 있다. 우선 낙조시의 경향을 보면, 수위가 배출구 입구에서 서안쪽으로 크게 편향하여 이동하는 경향을 보이고 있으며, 또한 만의 중앙에서 서안쪽의 수위가 동안보다 수온이 높게 분포하고 있음을 알 수 있고, 이는 동안의 B 지점에서 관측한 결과(Fig. 5)를 뒷받

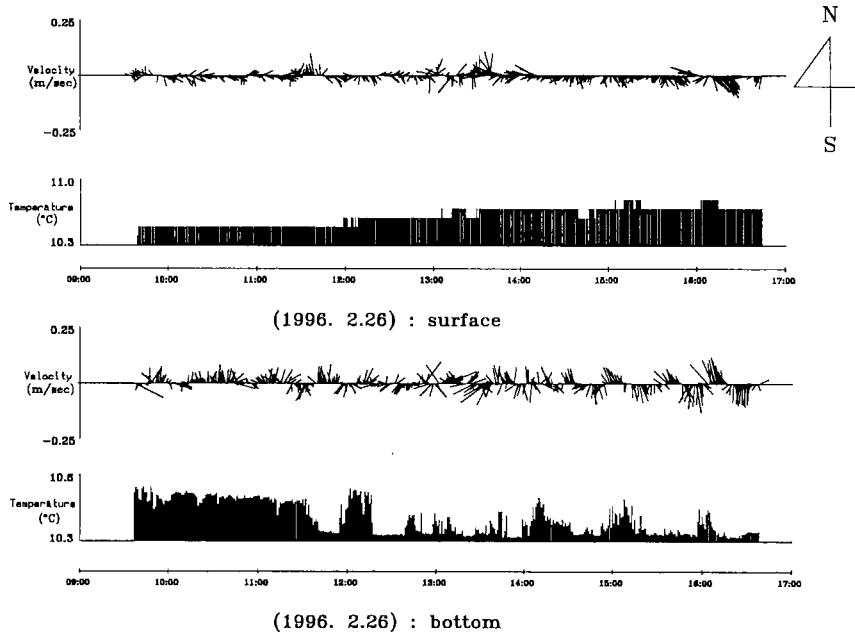


Fig. 11 Time series of observed current and temperature at C (neap tide)

침 한다고 할 수 있다. 방파제 부근의 15.8°C 와 15.5°C 의 등 수온선은 창조시 관측한 자료로서 방파제 사이에서 유입되는 조류가 서안쪽으로 전파되는 양상을 보여 주었다.

5월 23일 관측한 수평 수온분포도(Fig. 10)에서는 창조시의 만내의 조류의 유동경로와 바람의 영향을 볼 수 있다. 창조시 방파제 사이로부터 서안으로 유입된 조류가 서안을 따라 북상하면서, 동시에 8.0m/sec 의 강한 남서풍의 영향으로 동북방향으로 넓게 퍼져나가는 양상을 보이고 있다. 이는 동일 관측한 동안의 B지점에서의 표층의 정선 관측 결과와도 일치한다. 따라서 대조기의 낙조시에 관측한 수온분포도인 Fig. 9와 드로그 추적결과인 Fig. 7, 8과 비교해 볼 때, 만내에서의 조류의 유동경로는 다음과 같다. 방파제 사이로 유입된 조류는 서안을 따라 북상하다가 만의 중앙부를 지나 다시 배출구 입구쪽으로 즉, 동북쪽으로 편향하는 유동을 보인다. 낙조시는 창조시의 유동경로를 따라 다시 방파제쪽으로 빠져 나간다.

이상의 관측 결과에서 대조시의 유동특성을 정리하면 다음과 같다.

1) 만내는 외해와 비교해서 조류의 영향이 약하다. 특히 온배수의 영향이 존재하리라 보여지는 배출구 입구부근의 표층은 불규칙한 왕복성 유동을 보이고 있었다. 하지만 저층은 표층에 비해 비교적 조류의 영향을 받고 있었다.

2) 대조시의 정선 관측지점 A, B의 경우에서, 배출구 입구 부근인 A지점은 표층에서는 온배수와 바람의 영향이 관측되었고, 저층의 경우는 조시에 비하여 2시간 정도 늦게 조류의 영향이 관측되었다. 그리고, 동안의 B지점에서는 표층은 바람의 영향이 거의 지배적이었고, 저층은 조시와는 거의 일치하나, 유속이 배출구 입구 부근인 A지점의 저층 유속보다 더 약하게 나타났다.

3) 대조시 만내의 주 유동경로는 다음과 같다. 창조시 방파제 사이로 유입된 조류는 서안을 따라 북상하다가 만의 중앙부를 지나 다시 배출구 입구쪽으로 즉, 동북쪽으로 편향하고, 낙조시는 밀물시

의 유동경로를 따라 다시 방파제쪽으로 빠져 나간다. 단, 창조시에 배출구 입구까지 유동 편향해 가는 시기에는 남풍의 영향이 관측되었다.

4) 창조시의 경우, 남풍이 작용한 시기와 그렇지 않은 시기에 만내의 유동경향은 큰 차이를 보이는 데, 이러한 결과로 대조시이나 만내는 바람의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었다.

3.2 소조시 관측결과

2월 26일 서안의 C 지점에서의 정선 관측한 결과(Fig 11), 표층은 조사시기 4.0m/sec의 남풍이 지속적으로 작용하였으나, 창조시와 낙조시 남하하는 흐름이 지배적이었다. 이에비해 저층에서는 불규칙적인 왕복성 유동양상의 특징을 보였으며, 유속도 표층에 비해 크게 나타났다. 따라서 서안의 C 지점에서는 표층에서는 조류의 영향보다는 온배수의 영향이 강하며, 저층에서는 약한 조류로 인한 왕복성 유동양상을 보이고 있었다.

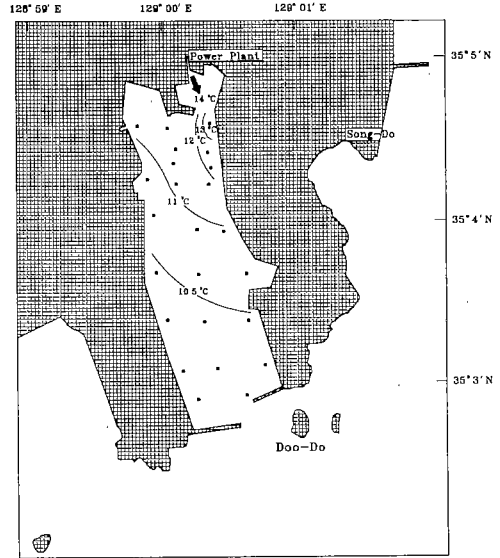


Fig. 13 Surface temperature distribution of flood flow at neap tide (1996. 2. 28)

2월 28일 만내의 창조시의 표층 수온분포도(Fig. 13)에서 만내는 전반적으로 온배수의 영향이 크게 작용함을 알 수 있다. 배출구에서 만내로 유입된 온배수는 남서풍의 영향으로 동안으로 기울어져 계속해서 남하한다.

2월 26일의 드로그 추적결과(Fig. 12)에서 조사시기가 창조시인 오전은 전반적으로 3m/sec의 북서풍이 우세하였고, 낙조시인 오후는 4m/sec의 남서풍이 우세하였다. 창조시인 10시 30분경에 관측한 드로그 추적결과에서는 드로그가 우방파제쪽으로 즉, 동남쪽으로 계속해서 남하하는 유동양상을 보였다. 수온분포도와 정선관측 결과에서 볼 때, 표층에서의 이러한 양상은 북서풍과 온배수의 영향으로 사료된다. 또한 낙조시인 오후에 외항의 드로그 추적결과를 보면 조류의 영향으로 동북쪽으로 향하다 방파제 입구부근에서 남북으로 왕복하는 특징을 보였다.

이상의 결과에서 소조시의 만내의 유동특성을 살펴보면 다음과 같다.

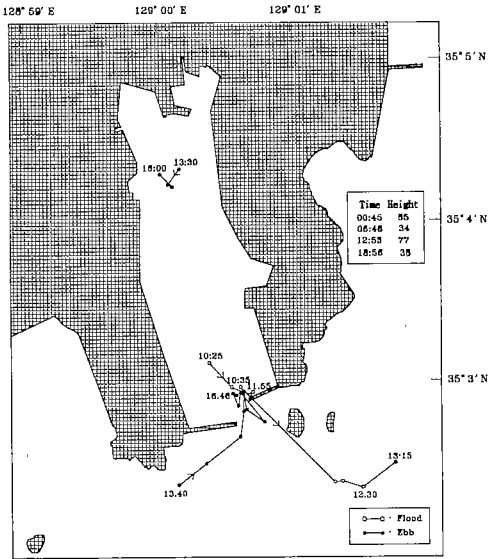


Fig. 12 Drogue tracking lines at neap tide (1996. 2. 26)

1) 표층에서는 내만으로 유입되는 온배수의 영향이 만내 전반에 걸쳐 작용하여, 창조시이나 계속해서 남하하는 유동특성을 보인다.

2) 서안의 C 지점에서는 표층에서는 온배수의 영향으로 남하하는 흐름이 지배적이고, 저층에서는 복잡한 왕복성 유동을 나타냈다. 또한, 저층에서의 유속이 표층에 비해 강하게 나타났다.

3) 2)의 저층의 결과로부터 소조시 저층의 수온 분포도를 볼 때, 저층에서는 만내의 중앙부에서, 남하하는 수괴와 방파제 사이로부터 유입되어 북상하는 약한 조류가 만나 상호작용하여 불규칙한 왕복성 유동양상을 보이는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

감천만에서 관측한 자료를 분석하여 만내에서의 해수의 유동특성을 살펴보았다. 분석결과, 감천만은 두 개의 방파제를 가지는 폐쇄적인 지형으로 인하여 조류의 영향이 미약하였다. 특히 표층에서 온배수, 바람과의 상호작용으로 인하여 조시와는 무관한 불규칙적인 유동경향이 관측된 반면, 저층에서는 미약하나마 조류의 영향이 보였다. 만내의 주 유동경로는 서안으로서, 창조시 방파제 사이로 전파된 미약한 조류가 서안을 따라 북상하고, 낙조시도 서안을 중심으로 수괴가 남하함을 알 수 있었다. 배출구 입구에서 만내로 유입되는 온배수도 서안으로 편향하는 특징을 보였다.

만내에 미치는 조류의 영향이 미약하므로 상대적으로 온배수와 바람의 영향이 강하게 나타났다. 소조시의 경우, 창조시임에도 불구하고 표층에서의 유동이 남하하는 특징을 보였다. 그리고, 대조시 동

안에서 관측한 유동의 방향에서 표층은 거의 바람이 지배적임을 알 수 있었다. 그러나, 저층은 크기는 약하나 조시와 일치하는 양상을 보이고 있었다.

참고문헌

- 1) 김기철, 김영의, "Analysis and Measurement of Discharge from the Power Plant in Gamcheon Bay", 동아대학교 건설기술연구소 연구보고, 제 20권, 제 2호, 1997, pp. 85~103.
- 2) 김창식, 이종찬, 정태성, 강시환, "3차원 해수 유동모델의 검증 및 적용", 해양연구소보, Vol. 11, No. 1, 1989, pp. 29~55.
- 3) Lee, J.W., Kim, K.C., Kang, S.Y. and Doh, D.H., Development of Simulation Model for Diffusion of Oil Spill in the Ocean I-Three Dimensional Characteristics of the Circulation in the Nearly Closed Bay-, J. Korean Institute of Port Research, Vol. 11, No. 2, 1997, pp. 241~256.
- 4) 한국전력공사, "부산복합화력발전소 증설사업 환경영향평가서초안", 1998, pp. 117~174.
- 5) 한국전력(주), "발전소 온배수확산에 관한 3차원 수치모델 연구", 1990, pp. 17~97.
- 6) 한국학술진흥재단, "낙동강 하구만에서의 해수 순환과 퇴적물 이동특성에 관한 연구", 1993, pp. 13~17.
- 7) 한국자원개발연구소, "감천항 수리모형실험 보고서", 1979, pp. 5~7.
- 8) Mehta, A. J. and Joshi., P. B., "Review of tidal inlet hydraulics", Coastal And Oceanographic Engineering Department, University of Florida, 1984.