

수문개폐에 따른 낙동강 하구둑 하류부의 해양물리환경변화

김기철⁽¹⁾, 양한섭⁽²⁾, 김차겸⁽³⁾, 문창호⁽²⁾, 장성태⁽¹⁾,

Variations of Physical Oceanographic Environment Caused by Opening and Closing the Floodgate in Nakdong Estuary

Ki-Cheol Kim⁽¹⁾, Han-Soeb Yang⁽²⁾, Cha-Kyum Kim⁽³⁾, Chang-Ho Moon⁽²⁾
and Sung-Tae Jang⁽¹⁾

요 약

낙동강 하구역은 담수와 해수가 만나 복잡한 순환양상을 보이는 지역이다. 낙동강 하구역은 하구둑의 건설로 혼합체계와 순환양상이 많이 변화하였다. 본 연구에서는 낙동강 하구둑 하류부의 해양 물리 환경 변화를 하구둑의 수문개폐에 초점을 맞춰 분석하였다. 관측과 분석에는 3가지의 경우로 나누었다. 1. 평상시 (조시에 따라 수문 개폐) 2. 홍수시 (수문 완전 개방) 3. 갈수시(수문이 완전히 닫혔을시)

Abstract

Nakdong Estuary is complex water system, where sea water and fresh water meet each other. After construction of Nakdong River Barrier, the flow pattern and mixing processes have been changed. Variations of physical oceanographic environment in Nakdong Estuary due to opening and closing the floodgate of Nakdong River Barrier are analysed focusing the movement of outflows from the barrier. Surveys and analysis were made for the three cases. 1. Ordinary times (opening and closing the gate by the tidal period) 2. A period of flood time (opening the gate) 3. A period of water shortage (closing the gate).

Keywords: Nakdong River Barrier(낙동강 하구둑), Floodgate(수문), Mixing, Nakdong Estuary

1. 서 론

낙동강 하구둑 하류부는 조시에 따른 수문의 인위적인 개폐로 담수와 해수가 급격히 만나는 지역으로, 밀도류와 지형적인 영향, 조류의 영향 등으로

복잡한 순환양상을 보이는 곳이다. 하구둑이 건설되기 전에는 강의 하상구배가 작은 관계로 밀물시에는 삼랑진 부근까지 해수가 유입되고, 썰물시에는 현재의 하구둑 위치보다 상류에서 담수와 해수가 혼합되어 내려오는 양상을 보여 낙동강 유동의

(1) 동아대학교 해양공학과

(2) 부경대학교 해양학과

(3) 남해전문대학 환경관리과

주요인은 조석이었다.(류와 장 [1979]) 하지만 하구둑이 건설된 후, 담수는 인위적인 조작으로 방출되고 해수유입은 하구둑에 의해 억제되어 수문을 열었을 때 담수와 해수는 급격히 만나 염수쇄기의 형태로 성층화되는 양상을 보여 하구둑 수문의 개폐는 하구둑하류부에서의 하구유동에 영향을 미치는 주된 요인 중의 하나로 되었다.

김 [1992]은 수문개폐에 따라 담수가 급작하고 간헐적으로 방출됨에 따라 저염의 플룸이 표층을 따라 하구아래로 모양을 유지하며 퍼진다고 제시하였다. Yu 와 Lee [1993], Yu 등 [1993]은 낙동강수 플룸의 수평확산에 대한 방정식을 제시하고 풀었다. 한 등 [1993]은 조석주기의 유속과 염분의 관측에 의해 낙동강수 플룸에 대한 조석과 바람의 영향을 논의하였고 또한 낙동강수 플룸은 간헐적인 방출에 의해 연속적으로 그 구조를 유지하지 못하고 폐지형태를 띤다고 하였다. 김 등 [1996]은 낙동강하구에 대체적으로 3개의 저염의 축이 존재하며 주된 저염의 축은 하구둑 건설 후 을숙도를 절개하여 새로 만든 수로를 나와 장자등과 나무섬 등을 거쳐 나오는 플룸이라고 하였다.

본 연구에서는 하구둑의 수문개폐에 따른 하구둑 하류부에서의 담수의 이동, 담수와 해수의 혼합양상 등 해양물리학적 환경의 변화양상을 밝히고자 한다. 이를 위해 하구둑 건설 전의 상황과 유사한 홍수시 수문을 완전히 개방한 경우, 갈수시 유출수의 영향이 전혀 없는 경우 및 평상시 조시에 맞추어 수문의 개폐가 이루어지는 경우와 같은 세가지 경우에 대하여 자료를 수집하여 분석하였다.

2. 자료 및 방법

본 연구에 사용된 자료는 다음과 같다. 평상시의 경우는 조시에 따라 담수를 유출한 1995년 10월 25일에 관측한 자료를, 갈수시는 심한 가뭄으로 농업용수가 부족하여 수문을 완전히 닫아놓은 1996년 6월 1일 관측한 자료를, 홍수시는 장마가 끝날 시점, 수문을 완전 개방하였던 1997년 7월 22일 관측한 자료를 사용하여 분석하였다. 세가지 경우 모두 조류의 영향이 강할 때인 대조시에 관측한 자료이다.

자료 수집은 다음과 같은 방법으로 하였다. 우선, 조시에 맞추어 담수의 유출경로를 보기 위해 하구둑 주수로를 따르는 정점에서 CTD(Conductivity - Temperature - Depth meter, 모델명 SBE 25)로서 수온과 염분을 측정하였고, 하구둑에서

유출되는 담수와 외해에서 유입되는 해수가 만나 혼합작용이 활발하리라 예상되는 대대동에서 가덕도 남단을 잇는 선을 따라 정점들을 선정하여 조석시기에 맞추어 역시 CTD로서 수온과 염분을 측정하였다. 각 정점에서는 표층에서 저층까지 1 m 간격으로 자료를 수집하였다. 또한, 유출수의 영향이 활발하리라 예상되는 주수로 중 1개 정점을 선정하여 2대의 유속계(Valeport Current Meter)를 사용하여 시간에 따른 표층과 저층의 유속 및 수온, 염분을 측정하였다. Fig. 1에 평상시, Fig. 6에 홍수시, Fig. 12에 갈수시의 CTD 관측정점과 유속측정정점, Table 1에 관측일시를 나타내었다.

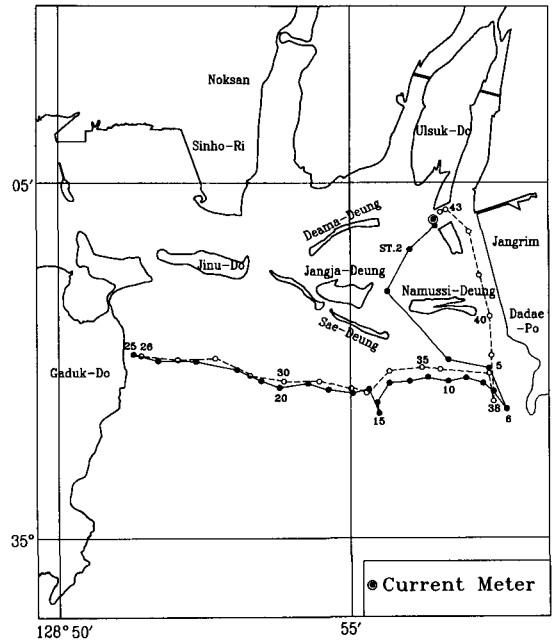


Fig. 1 CTD measurement points and current measurement point(1995)

3. 분석 및 토의

3-1. 수문이 조시에 따라 개폐가 될 경우(평상시)

우선, 수문이 조시에 따라 개폐가 되는 평상시의 경우인데, 낙동강 하구둑 하류부의 일반적인 양상이다. 하구둑 하류부에서 담수와 해수의 혼합기작을 자세히 보기 위한 CTD 관측은 썰물시에는 을

속도 절개면에서 시작하여 남쪽으로 주수로로 따라 내려와 다시 다대동과 가덕도를 잇는 동서방향으로 정점들을 설정하여 행하였고, 밀물시에는 가덕도에서 다대동으로 다시 장립을 따라 북으로 을 속도 절개면까지 관측하였다. Fig. 1에 썰물시 측정된 정점들은 실선으로, 밀물시 측정된 정점들은 점선으로 나타내었다.

썰물시 측정된 다대포와 가덕도의 동서방향 수직단면의 염분분포를 Fig. 2에 나타내었는데 2개의 저염의 축, 즉 담수의 유출경로를 확인할 수 있다. 주수로상에서 썰물시 유입되는 유출수의 영향으로 새등 아래의 정점 12, 13, 16의 표층에 주된 저염의 축이 하나 존재하고, 하구둑이 건설되기 전의 기존 수로, 즉 장립에서 다대포를 따라 내려오는 수로에 위치한 다대포 부근의 정점 6, 7, 8의 표층에 또 하나의 저염축이 존재한다. 결국, 김 등 [1996]에서 확인된 바와 같이, 수문이 조시에 따라 개폐가 되는 평상시의 경우, 썰물시 대부분의 담수는 주수로로 따라 흐르고, 일부는 장립에서 다대포의 기존 수로를 흘러 내려온다.

밀물시의 경우를 보면(Fig. 3), 주수로 부분은 밀물시이지만 유출수의 영향으로 저염이 존재하고 있다. 그러나 저염의 축은 썰물시와 비교하면 다대에서 가덕도 방향으로 흐르는 밀물의 영향으로 가덕도쪽으로 많이 밀려가 있음을 알 수 있다. 즉, Fig. 2의 정점 12, 13의 저염의 축과 정점 7, 8의 저염의 축은 각각 Fig. 3의 정점 30, 31의 저염의 축과 33, 34의 저염의 축으로 밀물의 영향에 의해 가덕도쪽으로 편향되어 있다. 이를 보면,

썰물시 하구둑에서 유출된 담수에 의해 형성이 된 강수플룸의 축은 밀물시에는 조류에 의해 이동이 됨을 확인할 수 있다.

정선관측은 주수로인 을속도 절개면에서 유출수의 거동을 명확히 보기 위해 Fig. 1에 표시된 정점에서 표층과 저층에 각각 수온, 염분 센서가 달린 유속계를 설치하여 유속, 유향, 수온, 염분을 측정하였다. 시간에 따른 표층의 유속과 수온, 염분의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 12시 30분 이후 방류의 영향으로 고온 저염의 담수가 흘러들어 오고 있음을 볼 수 있다. 유속은 아주 미약하지만 조시에 따라 썰물시는(09:15 - 15:03) 남향, 밀물시는 북향하는 흐름을 보인다. 방류수가 도달하기 이전인 9시에서 12시 30분 정도까지는 염분의 시간에 따른 변화가 큰 것으로 보아 해수와 담수의 혼합현상이 복잡하게 진행됨을 알 수 있다. 저층에서는 표층에 비해 비교적 강한 흐름을 보이는데, 특이한 점은 썰물이 시작된 뒤에도 약 3시간 가량(09시부터 12시) 표층과는 다른 북향의 흐름을 나타낸다는 점이다. 썰물이 한참 진행중인 12시 이후에는 비교적 남향의 상당히 불규칙한 유속을 보인다. 밀물이 시작되면 불규칙적이긴 하지만 비교적 북향의 흐름을 보여 전반적으로 저층에서는 주로 북향의 흐름이 우세하게 나타나고 있는데 이는 하구둑의 폐쇄경계로 인하여 표층의 유출수 거동을 보충하는 반류로서의 성질을 나타내고 있다. 담수의 영향은 표층과는 달리 나타나지 않음으로 볼 때 담수의 유입은 주로 표층부분에서 성층화된 채 주수로로 따라 흘러내려 오음을 알 수 있다.

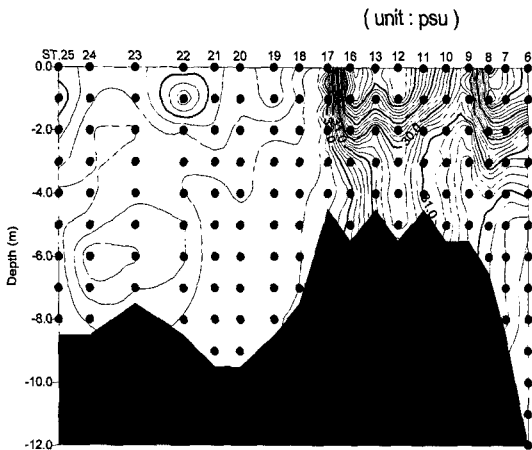


Fig. 2 Vertical section of salinity (1995. 10. 25)
- ebb tide -

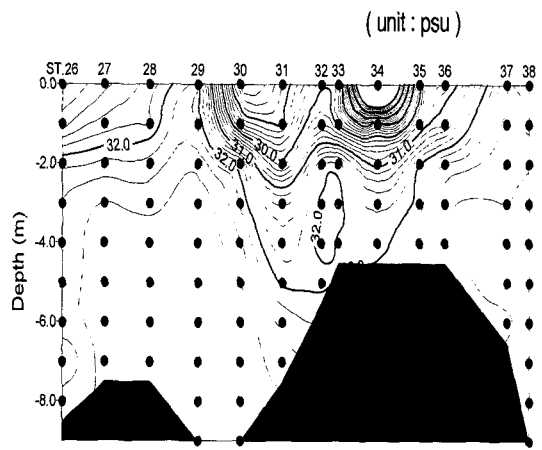


Fig. 3 Vertical section of salinity (1995. 10. 25)
- flood tide -

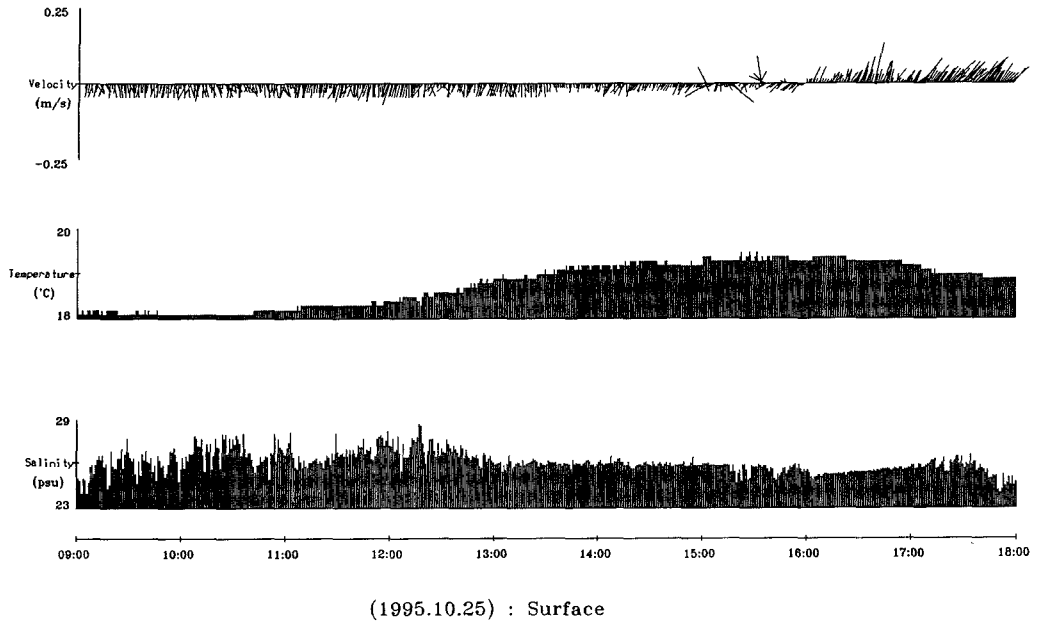


Fig. 4 Time plots of current in the upper layer

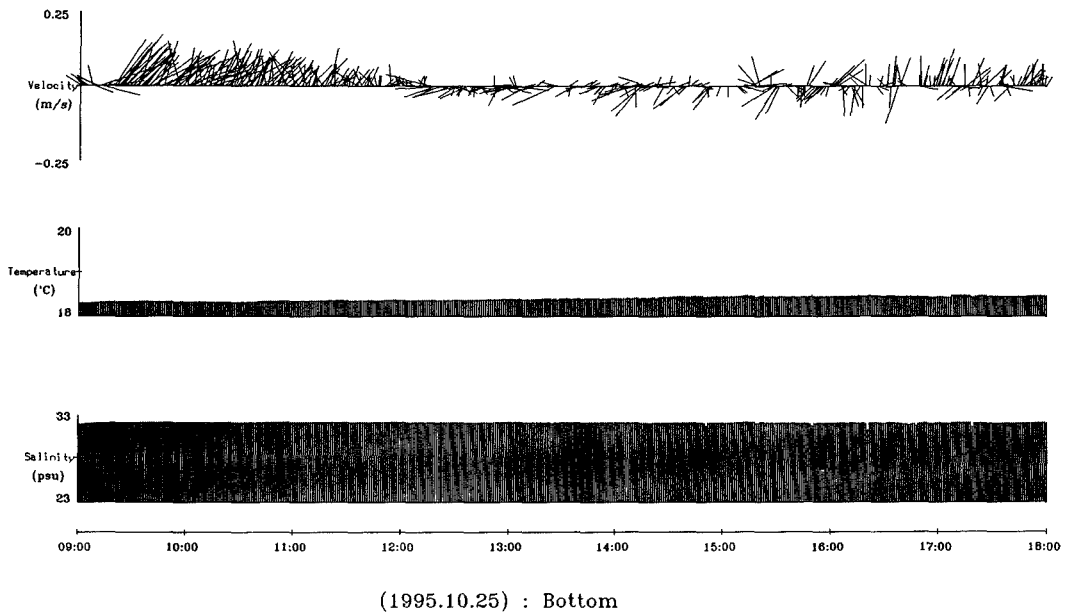


Fig. 5 Time plots of current in the lower layer

이 때가 대조시임을 고려하면 조류의 영향이 강할 때임에도 불구하고 미약한 유속을 보여 낙동강 하구둑 하류부 유속도 절개면에서는 조류의 영향보다는 유출수의 거동이 지배적임을 알 수 있었다.

3-2. 수문을 완전히 개방하였을 경우 (홍수시)

오랜 장마로 인하여 하구둑의 수문을 조시에 관계없이 완전히 개방하였을 때인 1997년 7월 22일의 관측정점들을 Fig. 6에 나타내었다.

먼저, 유출수의 거동을 보기 위해 주수로로 따라 하구둑에서 하류부쪽의 남북방향으로, 담수와 해수의 혼합과정을 보기위해 다대포에서 가덕도쪽의 동서방향으로 정점들을 선정하여 조시에 맞추어 CTD 측정을 하였다. 또한 혼합작용이 활발하리라 예상되는 새등 아래에 1개 정점을 선정하여 2대의 유속계를 이용하여 표층과 저층의 유속 및 수온, 염분을 측정하였다.

주수로에서 유출수의 거동을 보기 위해 선정된 남북방향의 정점에서 고조 후 2시간 30분부터 4시간까지의 썰물시에 관측하였다. 관측 정점은 Fig. 6에서 점선을 따르는 정점이다. 염분의 수직단면을 Fig. 7에 나타내었는데 전반적으로 주수로로 따라 담수의 영향인 저염이 나타났으며, 하구

둑에서 주수로로 따라 담수가 유입되면서 해수와 혼합이 되는 과정을 볼 수 있다. 약 10‰에서 16‰의 조밀한 간격의 등염분선 구조가 10번 정점에서 가장 깊어지고 새등아래의 11번에서 13번 정점의 해수표면에 염분전선의 형태로 분포하는 이른바 강수플룸의 전형적인 구조를 보여주고 있다.

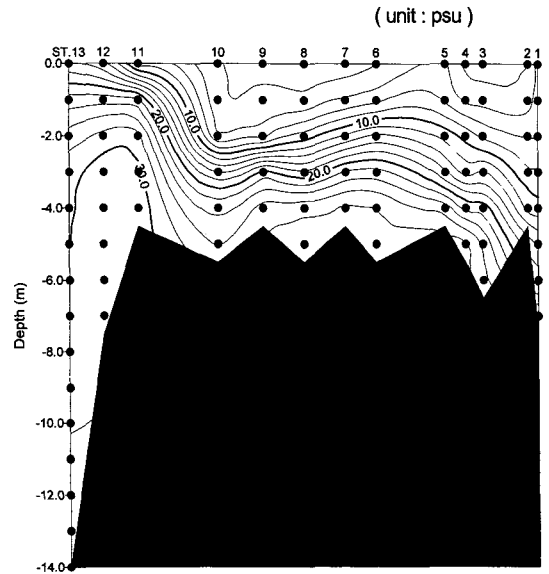


Fig. 7 Vertical section of salinity (1997. 7. 22)
- ebb tide -

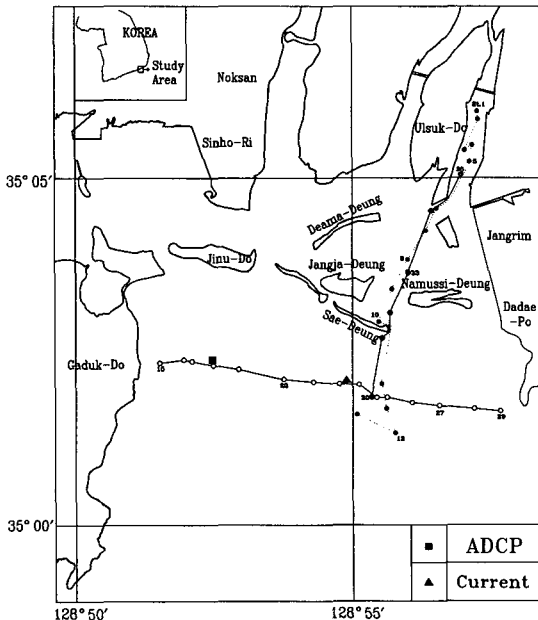


Fig. 6 Study Area and CTD measurement points (1997)

밀물시에는 새등 아래 30번 정점에서 주수로로 따라 하구둑 방향으로 올라가며 Fig. 6에 실선으로 표시된 정점에서 관측하였다. 염분의 수직단면은 Fig. 8에 나타내었는데 특징적인 사항은 전형적인 염수췌기의 형태를 나타낸다는 것이다. 즉, 췌물이 끝나고 밀물이 되었을 때, 새등 위쪽의 하구둑 주수로는 방출된 담수가 표층에서 저층까지 차지하고 있고 해수는 새등부근의 저층에서 부터 밀고 들어오는 양상을 보이고 있다. 이를 종합하여 보면, 수문을 완전히 개방하였을 경우에는 담수는 췌물시 플룸의 형태로 진행을 하다 점점 주수로로 따라 저층까지 차지하게 된다.

담수와 해수가 만나서 만드는 염분전선은 새등아랫부분의 표층에서 형성이 되고 이는 밀물시라도 소멸하지 않고 계속 존재한다. 밀물이 되면 해수는 염수췌기 형태로 저층으로 들어오게 되고 저층을 차지하고 있던 담수와 혼합이 되면서 다시 하구둑 부근까지 성층을 만들어 플룸의 특징적인

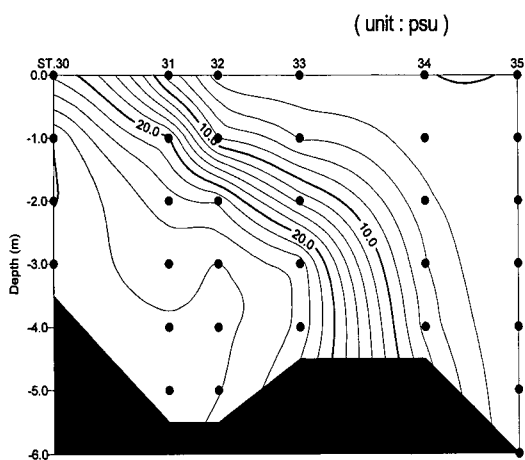


Fig. 8 Vertical section of salinity (1997. 7. 22)
- flood tide -

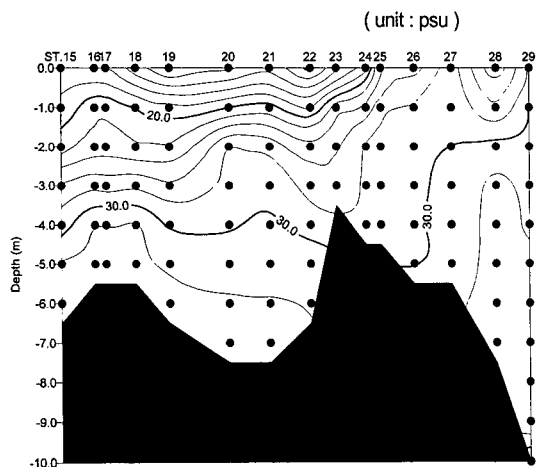


Fig. 9 Vertical section of salinity (1997. 7. 22)
west - east cross section

양상을 만들게 되며 이는 다시 조시에 따라 반복이 된다. 결국 담수의 영향은 새등 위쪽에서는 조시에 관계없이 항상 미치고 있음을 알 수 있다. 담수와 해수가 만나 거의 혼합이 되는 곳은 새등 아래쪽이 된다. 밀물이 시작될 시점에 측정된 염분의 동서단면을 보면(Fig. 9), 다대동 방면에서 밀려오는 밀물의 영향으로 다대포 부근의 해수는 고염이 되고 담수층은 새등아래의 주수로 부근에서 서쪽으로 존재함을 알 수 있다. 즉, 강수플룸은 조류의 영향을 받아 이동하여 서쪽으로 편향됨을

확인할 수 있었다.

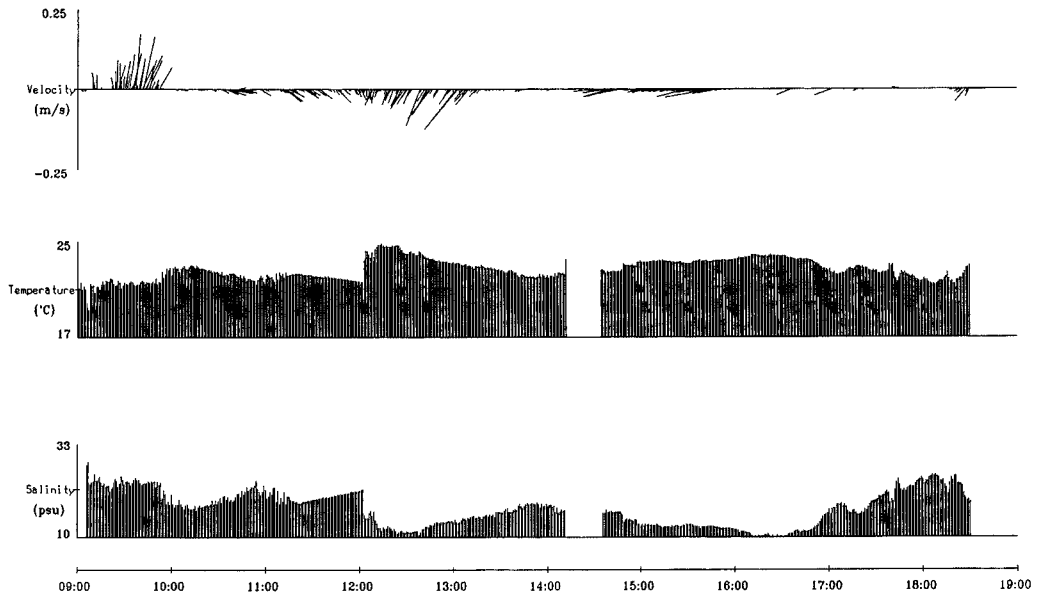
정선관측은 혼합작용이 활발하리라 예상되며, 조류의 영향을 직접 받는 지역인 새등아랫부분에서 표층과 저층에 각각 수온, 염분 센서가 달린 유속계를 설치하여 유속, 유향, 수온, 염분을 측정하였다. 표층의 유속과 수온, 염분의 시간별 분포를 Fig. 10에 나타내었다. 유출수로 인해 전반적으로 전시간에 걸쳐 남하하는 흐름을 볼 수 있다. 이는 앞의 염분의 수직분포에서 확인한 바, 표층의 강수플룸은 하구둑 수문을 완전히 개방했을 경우에는 조시에 관계없이 주수로로 따라 항상 남하하는 흐름을 보이고 새등 아래에서 해수와 혼합하는 양상을 보임을 알 수 있다. 17시 이후는 밀물의 영향으로 해수와 혼합이 되어 저온 고염으로 변화되고 있다. 저층의 경우(Fig. 11), 유속분포는 표층보다 조류의 양상이 완전히 나타나고 있으며, 유출수의 영향으로 썰물시 저층에서도 고온 저염의 수괴를 확인할 수 있었다. 17시 이후의 표층과 저층의 경우를 보면 상이한 현상이 나타나고 있는데, 이때가 저조후 1시간 30분경임을 고려할 때 썰물의 영향으로 어느 정도 혼합이 된 혼합수가 미쳐 외해로 빠져나가기 전에 밀물의 영향으로 다시 북상한 것으로 사료되며, 표층의 경우 담수의 영향을 많이 받은 관계로 상대적으로 고온 저염의 물이 나타났고 저층의 경우는 밀물에 의한 해수의 영향이 지배적이므로 상대적으로 저온 고염의 혼합수가 나타났다.

3-3. 수문을 완전히 닫았을 경우 (갈수시)

1996년 6월 1일의 경우는 가뭄으로 인한 농업 용수의 부족으로 관측시 전혀 수문을 열지 않았는데 이때의 관측정점들을 Fig. 12에 나타내었다. 관측은 새등 아래 해역에서 다대포와 가덕도의 동서방향으로 썰물과(정점 1a에서 16a) 밀물시(정점 1b에서 14b)로 조시에 따라 행하였다.

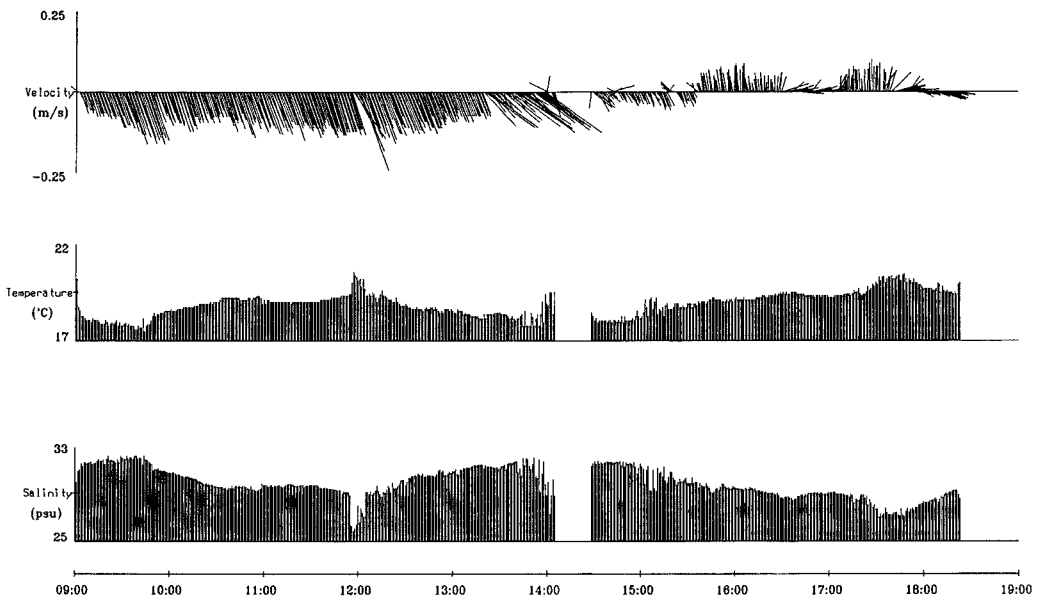
썰물시의 측정은 썰물이 한참 진행된 고조후 3시간 10분부터 저조전 1시간 20분까지 관측하였고 염분의 수직단면은 Fig. 13에 나타내었다. 전반적으로 유출수의 영향이 없는 관계로 주수로 부근인 새등아래 해역의 표층저염을 제외하고는 거의 고염의 분포를 보인다. 주수로 아래인 정점 10a, 11a, 12a의 상대적 저염은 이곳이 새등아래 주수로 부분임을 고려하면, 해수보다는 저염인 담수와 해수의 혼합수가 썰물의 영향으로 다시 내려와 패치(patch) 형태로 형성된 것으로 사료된다. 이로 볼 때 이전에 유출된 담수와 해수의 혼합

수문개폐에 따른 낙동강 하구둑 하류부의 해양물리환경변화



(1997. 7.22) : Surface

Fig. 10 Time plots of current in the upper layer



(1997. 7.22) : Bottom

Fig. 11 Time plots of current in the lower layer

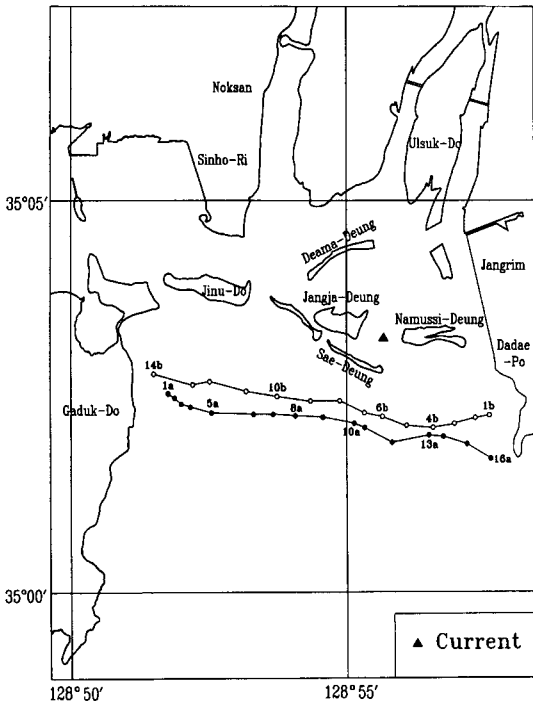


Fig. 12 CTD measurement points and current measurement point(1996)

수는 썰물시 완전히 외해로 빠져나가지 못하고 조류의 영향으로 주수로로 따라 오르내림을 알 수 있었다. 밀물시 측정된 염분의 수직분포를 보면, 이때가 저조후 50분부터 저조후 1시간 40분까지이며 이는 썰물이 완전히 끝나 혼합이 활발히 진행된 후 밀물이 진행된 시점이어서 전층에 걸쳐 혼합이 잘 되어 있는 것을 볼 수 있었다(Fig. 14). 밀물의 영향으로 정점 1b, 2b에서는 고염의 해수가 밀려들고 있으며, 그림 13의 33 ‰의 축이 밀물의 영향으로 상층까지 혼합이 된 채 가덕도쪽으로 이동하고 있음을 볼 수 있었다. 앞질의 수문을 완전히 개방하였을 때와 비교하면, 강수플룸은 형성이 되지 못하고 이전에 형성되었던 강수플룸은 패치형태로 불연속적으로 조류에 따라 이동함을 알 수 있다.

주수로에서의 해수유동을 보기 위해 장자등과 나무식등 사이에 1개정점을 선정하여 중층과 저층의 유속 분포를 보았다. 중층의 경우 조류의 영향이 뚜렷하게 나타났으며 썰물의 영향이 조시에 비해 30분정도 더 지속되었다(Fig. 15). 14시 이후에 고은 저염의 수괴를 발견하였는데 이때가 밀물시

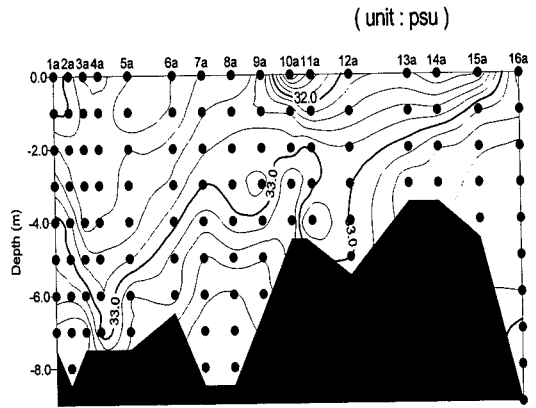


Fig. 13 Vertical section of salinity(1996. 6. 1) - ebb tide -

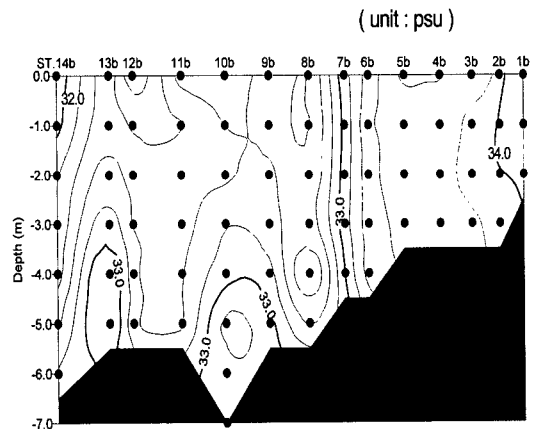
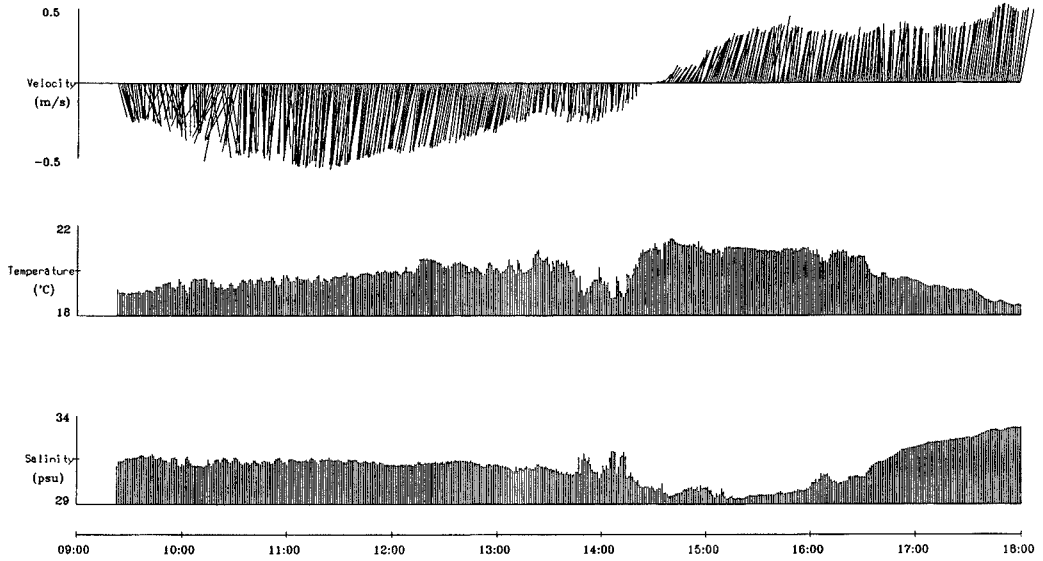


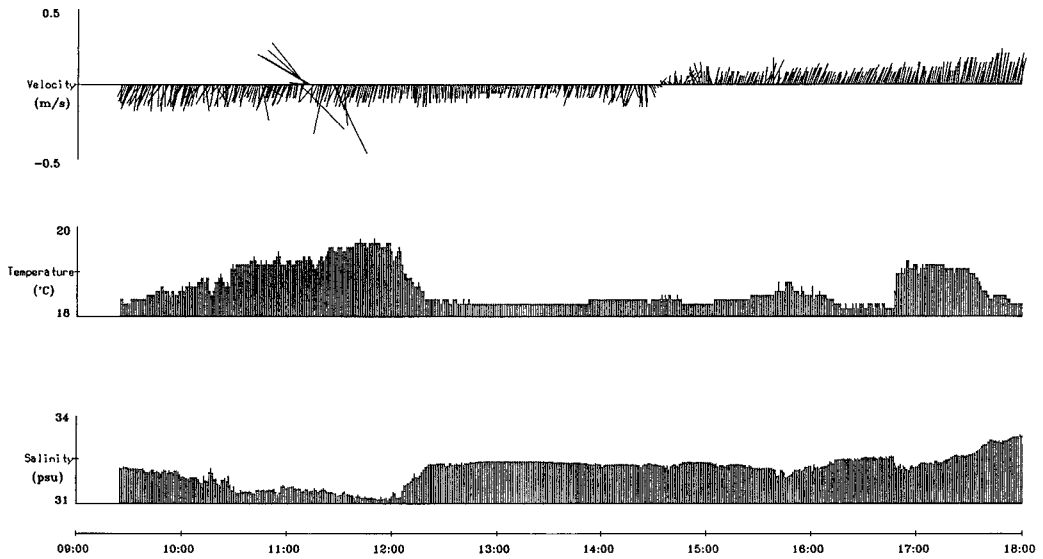
Fig. 14 Vertical section of salinity(1996. 6. 1) - flood tide -

임을 고려할 시 이상할 수도 있지만 이는 이전에 유출된 담수가 완전히 혼합되지 못한 채 외해로 빠져나가기 전에 밀물의 영향으로 재유입된 수괴로 사료된다. 저층의 경우도 Fig. 16 중층과 같이 조류의 영향이 뚜렷이 나타났지만 상대적으로 미약한 흐름을 보였다. 이 때가 대조시조류의 영향이 강할 때임을 고려하면 지형적인 영향으로 마찰력에 의해 유속이 많이 감소한 것으로 생각된다. 10시 30분 경부터 12시경까지 약 1시간 30분 정도 상대적으로 저염 고온의 분포를 보이는데 이것도 일시적으로 지나가는 패치의 영향으로 볼 수 있다.



(1996. 6. 1) : Middle

Fig. 15 Time plots of current in the upper layer



(1996. 6. 1) : Bottom

Fig. 16 Time plots of current in the lower layer

Tbale 1

관측일	관측 항목	관측 시간	조 시	비고
1995년 10월 25일	CTD 유 속	썰물시; 10:53~14:41 밀물시; 16:02~17:34	02:35 0 09:15 203 15:03 4 21:25 188	평상시
1996년 6월 1일	CTD 유 속	썰물시; 11:14~12:32 밀물시; 14:40~15:37	01:49 23 08:05 170 13:56 10 20:41 197	갈수시
1997년 7월 22일	CTD 유 속	썰물시; 12:26~13:48 밀물시; 18:33~19:37 동서단면; 15:17~17:02	03:53 12 10:14 189 15:57 7 22:39 208	홍수시

4. 결 론

수문개폐에 따른 낙동강 하구둑 하류부의 해양물리학적 환경의 변화를 유출수의 거동을 중심으로 파악하였다. 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

1) 평상시 수문이 조시에 따라 개폐가 되는 경우, 새등아래 해역에서는 저염의 강수플룸의 축이 주수로 부근과 다대포쪽 수로부근의 2곳에서 뚜렷하게 형성이 되는데 이 강수 플룸의 축들은 조시에 따라 조류에 의해 이동이 되어, 밀물시에는 가덕도쪽으로 편향이 된다. 강수플룸은 단지 밀물시에는 혼합과정을 거쳐 세력이 약해지지만 조시에 관계없이 계속 존재하게 된다.

2) 수문을 완전히 개방하였을 때는 하구둑에서 주수로를 따라 썰물시 전형적인 강수플룸의 양상을, 밀물시 전형적인 염수썩기의 양상을 보여준다. 새등 위쪽에서는 강수의 영향이 조시에 관계없이 지배적이며 강수플룸과 해수의 혼합은 새등아래쪽에서 이루어진다.

3) 수문을 완전히 닫았을 경우는 강수플룸은 형성이 되지 못하고 이전에 형성되었던 강수플룸이 불연속적으로 패치형태로서 조류에 따라 이동한다. 밀물시에는 새등 아래해역은 표층에서 저층까지 거의 완전히 혼합이 된다.

4) 하구둑이 건설되기 전과는 달리 하구둑 하류부의 순환기작은 주수로 부분과 새등아래의 2부분으로 크게 나눌 수 있는데, 주수로의 경우 조류의

영향보다는 유출수의 영향이 지대함을 알 수 있었고 담수와 해수는 성층화되어 주수로를 따라 내려움을 확인하였다. 아울러 밀도류의 기작과 지형적인 영향으로 담수와 해수의 혼합수는 주수로를 따라 오르내림을 알 수 있었다. 하류부의 경우 담수와 해수는 주로 썰물시 혼합되었으며, 혼합된 후 채 외해로 빠져나가기 전에 밀물의 영향으로 재 유입됨을 확인 할 수 있었다.

5) 유속측정결과 주수로에서 표층과 저층의 흐름 차이를 관측하였는데, 이는 성층화와 지형적인 영향으로 마치 2개의 층으로 나누어진 것처럼 유동함을 볼 수 있었고, 담수는 표층에 떠서 완전히 혼합이 되지 않은 채 주수로를 따라 흘러 내려감을 알 수 있었다. 이로 보았을 때, 토사나 생활하수 및 공업용수의 유입시 이러한 오염물질들은 완전히 외해로 빠져나가지 못하여 낙동강 하류부에 잔재하여 오염을 가중시킬 수 있음을 예측할 수 있었다.

후 기

이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었습니다.

참고 문헌

[1] 류 청로, 장 선덕, 1979, “ 낙동강 하구의 조석과 유동 ”, 한국해양학회지(14), 71-77

- [2] 김 영의, 1992, “낙동강 하구연 일대의 수문학적 조사”, 환경연구노트 제 1호, 인제대 환경연구소, 77-86
- [3] 한 건모, 김 기철, 김 재중, 1993, “명지녹산 해역 매립 후의 해수유동에 관한 연구”, 한국해양공학회, 7(1), 441-454
- [4] Yu, H. S. and Lee, J., 1993, “A hydrodynamic solution for the lateral spreading of a river plume”, J. Kor. Soc. Coast. Ocean Eng. , 5(4), 302-306
- [5] Yu, H. S. and Lee, J., Kang, H. J., Kang, S. R., Choi, K. S. and Kim, J. S., 1993, “Lateral spreading of a river plume and transport of suspended sediments in the Nakdong estuary”, J. Kor. Soc. Coast. Ocean Eng., 5(4), 296-301
- [6] Kim, K.C., Kim, J. J. , Kim, Y. E., Han, K. M. , Choi, K.K. and Jang, S. T., 1996, “Outflow characteristics of Nakdong River plume”, J. Kor. Soc. Coast. Ocean Eng., 8(4), 305-313