

낙동강 하구에서의 해양 환경 변화

장성태* · 김기철¹

한국해양연구원 해양환경연구본부, ¹동아대학교 토목해양공학부

Change of Oceanographic Environment in the Nakdong Estuary

SUNG-TAE JANG* AND KI-CHEOL KIM¹

Marine Environment Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan 426-744, Korea
¹Division of Civil and Ocean Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

낙동강 하구는 담수와 해수가 만나 복잡한 순환 양상을 보이는 지역으로, 1987년에 준공된 하구둑의 건설로 지형적인 변화와 함께 여러 가지 해양 환경적인 변화를 가져왔다. 하구둑 건설 전과 후의 특징을 보면, 건설 전에 비해 흐름이 약해졌고 조류가 흐름을 주도하던 혼합 기작이 담수의 방류가 주도하는 체계로 변화하였다. 이러한 담수의 방류는 그 정도에 따라 낙동강 하구둑 하류부 담수의 거동과 혼합 특성을 변화시켰으며 해수 순환에도 큰 영향을 주었다. 본 연구에서는 낙동강 하구둑 하류부의 유동 특성을 하구둑의 수문 개폐에 초점을 맞춰 분석하였다.

The Nakdong Estuary is complex water system, where sea water and fresh water meet each other. It has undergone the significant change of its environmental conditions since the construction of the Nakdong River Barrier in 1987. Prior to its construction, mixing and circulation processes in the Nakdong Estuary was dominated by tidal current. However, after the dam construction, those processes were greatly altered by the artificial control of the fresh river water discharge. In this paper, the influence of opening and closing the floodgate of Nakdong River on the outflow behavior of estuarine water from the Nakdong Estuary is analyzed in detail.

Keywords: Nakdong Estuary, Nakdong River Barrier, Floodgate, Plume

서 론

낙동강 하구는 한반도에서 유일하게 삼각주와 사주의 발달이 양호한 곳으로, 상류 전역에서 유입된 토사가 대마동, 장자동, 백합동과 나무시동 등의 사주로 발달하여 하구내의 조류, 파랑과 작용하여 그 형태가 끊임없이 변화하고 있는 지역이다. 낙동강 하구의 지류는 을숙도를 기점으로 동쪽 지류와 서쪽 지류로 나뉘어 바다와 만난다. 낙동강 하구의 해양환경에 있어서 분기점으로 작용한 낙동강 하구둑은 1987년 7월에 완공되었다(한국수자원공사, 1987). 낙동강 하구둑 건설 전에는 대부분의 유출수가 서쪽 지류를 통해 빠져나갔으나, 건설 후에는 기존 수로의 변경을 위해 을숙도를 절개하여 새로운 수로를 형성하여 주수로를 변경하였고, 이에 따른 매립과 준설 등에 의해 낙동강 하구는 새로운 해양환경에 직면하게 되었다. 또한, 낙동강 하구둑 하류부는 조시에 따른 수문의 인위적인 개폐로 담수와 해수가 급작스럽게 만나게 되어 밀도류와 지형적인 영향, 조류의 영향 등으로 순환과정이 더욱 복잡하게 되었다. 류와 장(1979)에 의하면, 하구둑이 건설되기 전에는 강의 하상구배가 작은 관계로 밀물시에는 삼랑진 부근까지 해수가 유입되고, 썰물시에는 현재의 하구둑 위치보다 상류에서 담수와 해수

가 혼합되어 내려오는 양상을 보여, 낙동강 유동의 주요인은 조석이었다. 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 개폐가 하구둑 하류부에서의 해수 유동에 영향을 미치는 주된 요인 중의 하나로 되었다. 김(1992)은 수문개폐에 따라 담수가 간헐적으로 방출됨에 따라 저염의 담수플룸(fresh water plume)이 표층을 따라 하구 아래로 모양을 유지하며 퍼진다고 제시하였다. Yu and Lee(1993)와 Yu et al.,(1993)은 낙동강 담수플룸의 수평 확산 방정식을 제시하고 풀이하였으며, 한 등(1993)은 조석 주기의 유속과 염분의 관측에 의해 낙동강 담수플룸에 대한 조석과 바람의 영향을 논의하였고, 낙동강 담수플룸은 간헐적인 방출에 의해 연속적으로 그 구조를 유지하지 못하고 패치(patch) 형태를 띤다고 하였다. 김 등(1996)은 낙동강하구에 대체적으로 3개의 저염의 축이 존재하며 주된 저염의 축은 하구둑 건설 후 을숙도를 절개하여 새로 만든 수로를 따라 장자동과 나무시동을 거쳐 나오는 담수플룸이라고 하였다.

본 연구에서는 낙동강 하구의 해양환경 변화에 의한 영향을 이해하기 위해 10여년에 걸친 유속 및 해수 물성의 현장 조사 자료와 위성 원격탐사 자료를 이용하여, 낙동강 하구의 지형 변화와 하구둑 건설 전·후 해수 유동 및 해수 물성의 분포 특성을 파악하고자 한다.

*Corresponding author: stjang@kordi.re.kr

낙동강 하구둑 건설 전후 해양환경변화

건설 전후의 지형변화

낙동강 하구는 삼각주와 사주의 발달이 양호한 지역으로, 상류로부터 유입된 많은 양의 토사가 하류로 내려오다 수심의 감소와 흐름의 약화로 퇴적되어 해안선과 평행한 크고 작은 사주의 형태를 이루고 있다. 낙동강 해양환경의 분기점은 하구둑의 건설이며, 크게 달라진 지형 변화는 을숙도를 절개하여 주수로로 변경하였고, 다대동을 잇는 매립으로 해안선이 단순해졌다는 것이다. 지형적인 변화는 국립지리원의 항공사진과 LANDSAT 이미지를 통해 살펴보았다. 하구둑 건설 전인 1982년도 지형을 보면(Fig. 1(a)), 을숙도 서편의 주수로와 동편에 퇴적되어 있는 토사에 의한 완만한 해안을 볼 수 있다. 또한 퇴적에 의해 사주가 잘 발달되어 있다. 건설 후인 1987년 지형의 두드러진 특징은(Fig. 1(b)) 매립과 준설로 인해 단순해졌다는 것이다. 을숙도 끝단의 절개와 동편의 준설로 주수로로 변경하였고 해안선을 매립하여 지형을 변화시켰다. 하구둑 건설 10년 후인 Fig. 1(c)에 새로운 매립을 통해 신호공단이 조성되어 있고, 사주가 점점 발달하고 있음이 관찰된다. Fig. 1(d)에 점점 사주가 발달하여 서수로의 역할이 건설 전에 비해 많은 차이가 있음을 관찰할 수 있다. 즉, 건설 전과 후의 주목할 지형 변화는 을숙도 아래 초승달 모양의 긴 사주가 발달하였으며 등의 발달이 계속 진행 중임을 보여주고 있다. 이는 앞으로도 하구에서 해수유동의 특성이 지속적으로 변할 것임을 시사해준다.

건설 전후 해수 유동 변화

하구둑 건설 전과 후 공통적으로 낙동강의 순환에 크게 영향을 미치는 요소는 조시에 따라 방류되는 담수(fresh water)와 조류이다. Garvine(1974, 1975, 1977)에 의하면 하구에서는 유출수로 인해 외해역까지 저염의 담수플룸이 형성되며 주변 수괴와 전선을 형성·확산하며, 조류에 의해 변동되는 양상이 뚜렷하다고 하였다. 즉, 하구의 순환기작은 조류와 유출수의 혼합과 확산 양상에 크게 좌우되는 것이다. 하구둑 건설 전의 낙동강은 하구로부터 약 40 km 상류까지 상향류를 보이며, 약 60 km 상류까지 조석의 영향을 받는 감소 하천으로 하구역에는 해수, 담수 및 혼합수가 조석의 간만 차에 의해 유출되고 유입된다. 건설 후는 하구둑의 수문개폐에 의해 담수와 해수의 이동과 혼합 양상이 변하게 된다. 건설 전과 후의 비교를 위해 유출수의 거동을 중심으로 이동과 확산 과정을 고찰하였다.

건설 전 자료는 담수와 해수가 만나는 외해역의 정점 K_3 와 K'_3 에서 흐름을 관찰하였고, 건설 후는 건설 전과 동일한 K_3 정점과 주수로상인 새등과 나무식등 사이의 정점 L과 M에서 방류량에 따라 관측하였다(Fig. 2). 조사일시와 방류량은 Table 1에 나타내었고, 방류량의 대소는 홍수를 제외한 10년 관측 동안 방류량의 정도를 크기순으로 나열하여 결정하였다. 건설 전은 한국해양대학교에서 관측한 자료이며, 자료는 직독식 유속계를 사용하여 전 층에서 1 m 간격으로 수직 이동 관측으로 획득되었다.

중조기인 1981년 9월 16일과 동년 9월 18일에 새등 남쪽해역인 K_3 와 K'_3 정점에서 관측한 자료를 Fig. 3에 나타내었다. 류와

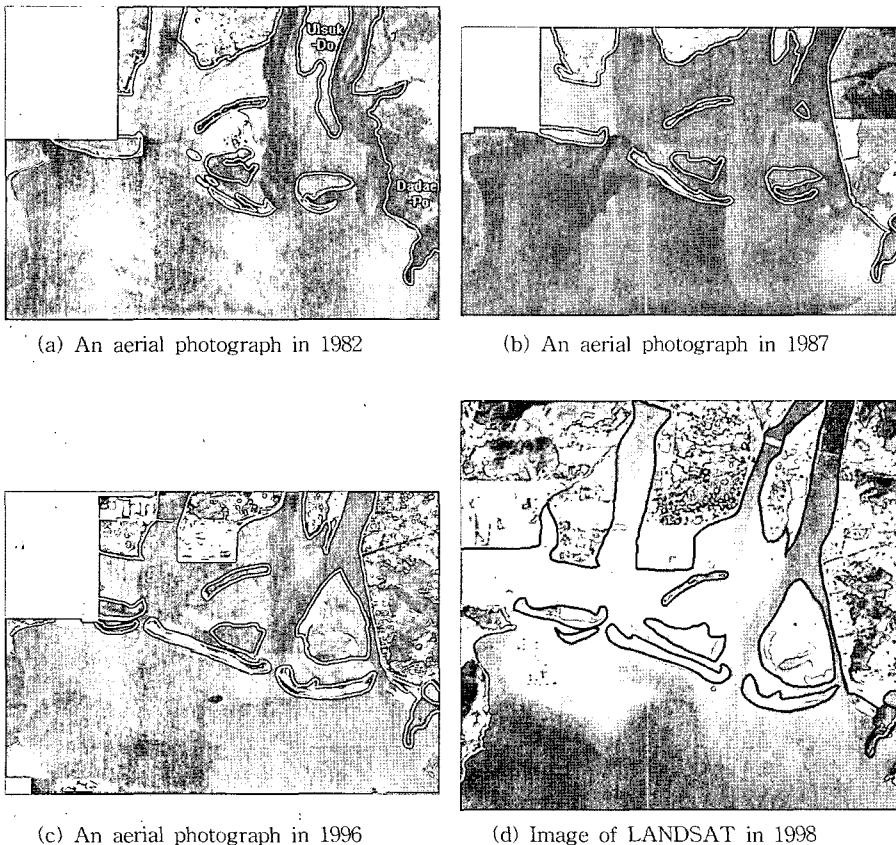


Fig. 1. Variation of topography in the Nakdong Estuary.

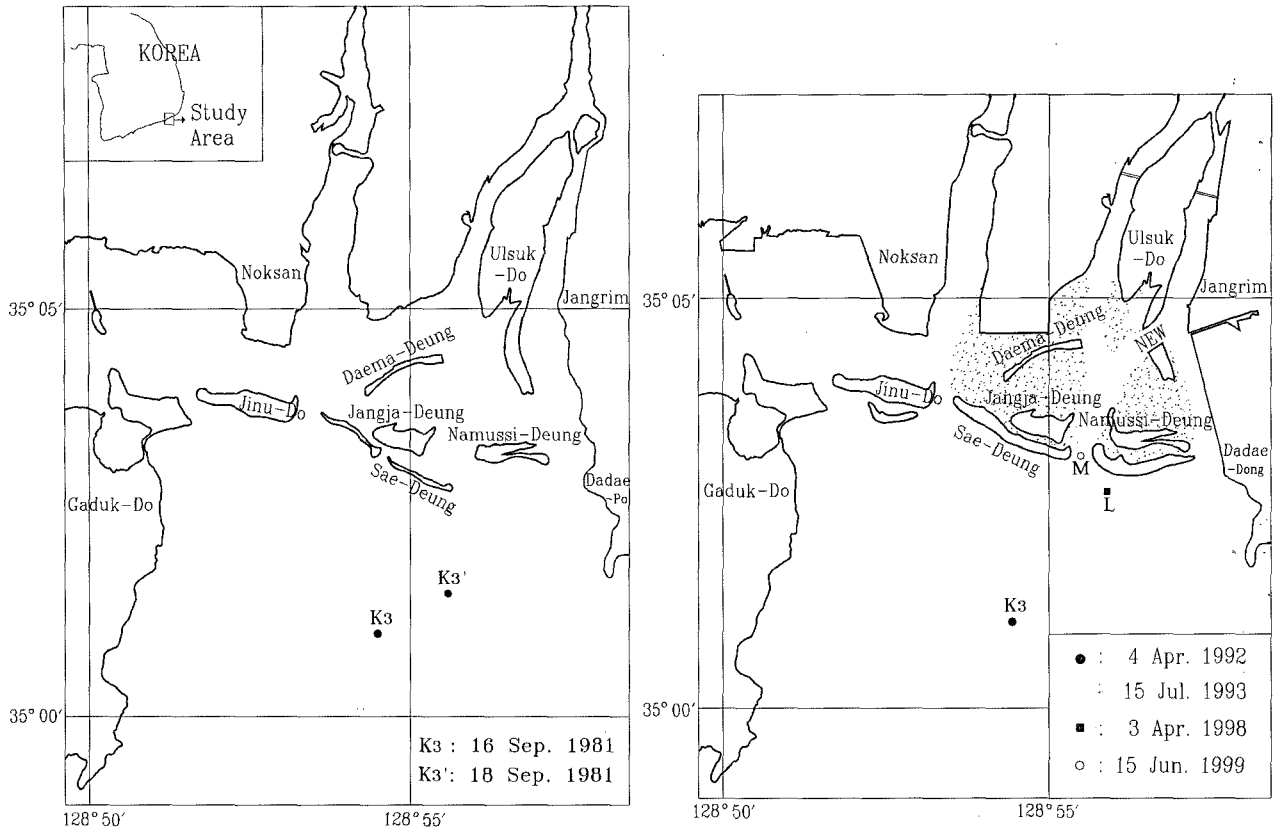


Fig. 2. Current observation stations before and after construction of Nakdong Barrage.

Table 1. Field observations in the Nakdong Estuary

Date	Month	Age	Tidal Time			Method	Gate Operation	Discharge (m ³ /day)
4 Apr. 1992	Spring Tide	02:57	7	09:18	173	Current Meter	23:30-06:43 11:20-18:15	12,851,400
		15:06	4	21:44	183			
9 Oct. 1992	Middle Tide	00:56	45	07:15	165	CTD Survey	21:23-04:15 10:05-16:19	23,940,080
		13:00	45	19:26	172			
15 Jul. 1993	Middle Tide	04:25	136	10:51	69	Current Meter	Full Open	494,640,000
		17:51	157	23:55	77			
1 Sep. 1993	Spring Tide	02:30	34	08:49	186	CTD Survey	23:00-07:03 11:00-18:05	83,940,080
		14:32	33	21:04	197			
25 Oct. 1995	Spring Tide	02:35	0	09:15	203	CTD Survey	00:00-06:14 12:28-18:03	5,946,000
		15:03	4	21:25	188			
22 Jul. 1997	Spring Tide	03:53	12	10:14	189	CTD Survey	00:00-08:06 10:00-18:35	42,306,000 55,759,000
		15:57	7	22:39	208			
3 Apr. 1998	Neap Tide	00:53	147	06:54	44	Current Meter	01:40-24:00	69,742,000
		13:01	125	18:56	49			
15 Jun. 1999	Spring Tide	02:58	9	09:23	132	Current Meter	00:00-07:30 11:15-19:15	2,106,000 7,992,000
		15:09	10	21:49	146			
16 Jun. 1999	Spring Tide	03:45	12	10:08	130	Current Meter	00:00-08:00 12:15-20:00	1,478,000 6,291,000
		15:54	16	22:33	142			

장(1979)은 낙동강의 유속은 조석 주기에 따라 주기적으로 변화하고 조석이 약해지는 소조시에 예리한 염수 썩기가 나타난다고 하였고, 자료에서도 조시에 따라 낙조시 남동방향으로 남하하는 흐름과 창조시 북서방향으로 북향하는 흐름으로 조류의 영향이 강하게 나타났다. K₃ 정점의 최강 유속은 표층에서 83 cm/sec로 나

타났고, 표층과 저층의 유속 차가 50 cm/sec이었다. K₃ 정점의 최강 유속은 70 cm/sec이고 유속 차는 30 cm/sec로 나타나 K₃ 정점에서 상대적으로 강한 흐름을 관찰할 수 있었다. 조석을 제거하기 위해 저주파통과 필터(lowpass filter)를 사용하였고 이렇게 구한 잔차류에서 표층과 저층의 상반된 흐름을 관찰할 수 있고, 남하하

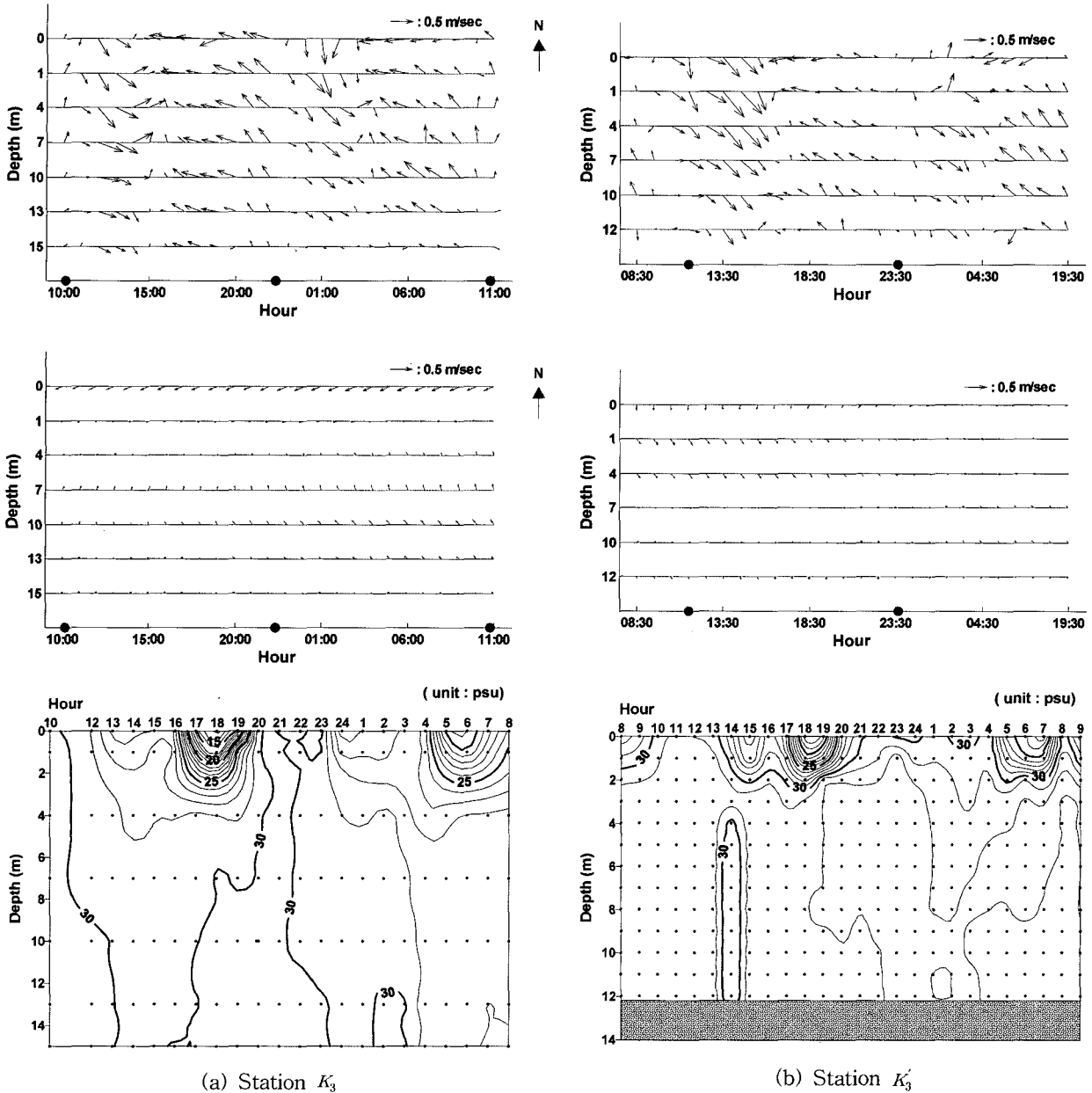


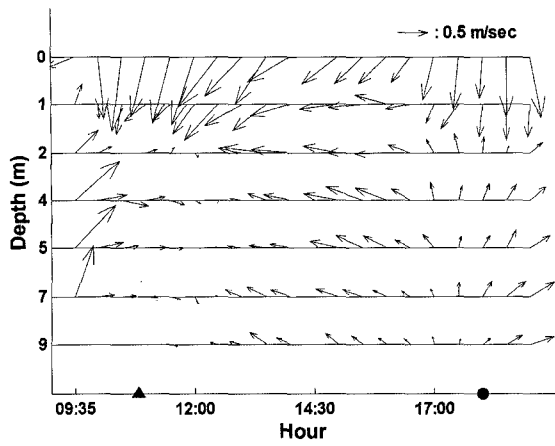
Fig. 3. Time series of the vertical structure of the observed currents, its sub-tidal currents, and salinity distribution before construction (●: High Water)

는 담수의 영향이 직접 표층에 미침을 볼 수 있다. 염분의 시간별 수직분포에서 저조 즘음에 저염이 나타났고 위치상으로 외해쪽인 K_3 정점에서 최저 염분이 나타났다. 표·저층 흐름의 편향이 나타나는 K_3 정점에서 유출수의 혼합 기작이 활발할 것임을 예측할 수 있다.

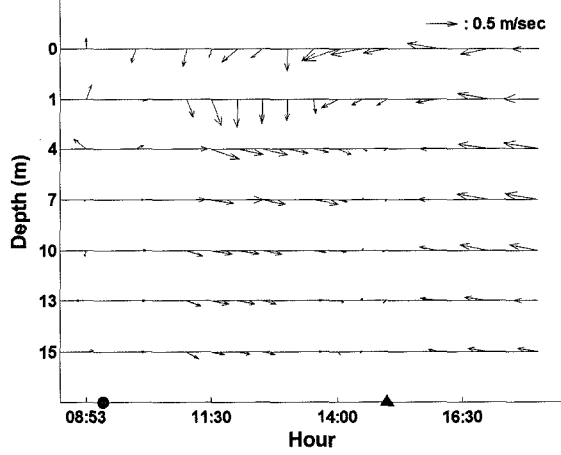
하구둑 건설 후는 담수의 거동과 혼합 기작이 수문개폐에 의한 영향을 많이 받는 관계로 조시에 따라 방류되는 방류량과 방류시기를 고려하여 분석하였다. 건설 전 관측 위치였던 K_3 정점에서 방류가 많아 계속 수문을 열어두었던 장마시와 조시에 따라 수문을 개폐하는 평상시로 나누어 관측하였다. 장마시 관측은 1993년 7월 15일 증조시에, 평상시는 1992년 4월 4일 대조시에 각각 관측하였다.

Fig. 4(a)의 최강유속은 126 cm/sec로 표층에서 나타났고 표층과 저층의 유속차가 104 cm/sec로 매우 크게 나타났다. 장마비에 의해 494,540,000 m³/day(Table 1)라는 막대한 담수의 영향으로 표층에서 관측시기 내내 조시에 상관없이 남하하는 담수의 영향이 나타나고 있으며, 방류량이 많을 때 유출수의 영향이 K_3 정점까지 직접 미치고 있음을 보여준다. 또한, 건설 전과 동일한 증조시임에도 불구하고 강한 유출수의 영향으로 표층과 저층의 이층구조를 확인할 수 있다. Fig. 4(b)의 최강유속은 57 cm/sec이고 유속차는 24 cm/sec로 나타났다. 고조 후 2시경부터 남하하는 담수의 영향이 일부 나타나지만, 대조시임에도 불구하고 건설 전의 자료와 장마시 자료에 비해 전반적으로 미약한 흐름을 보였다.

건설 전과 후의 K_3 정점 관측을 통해 하구지역의 순환은 유입원

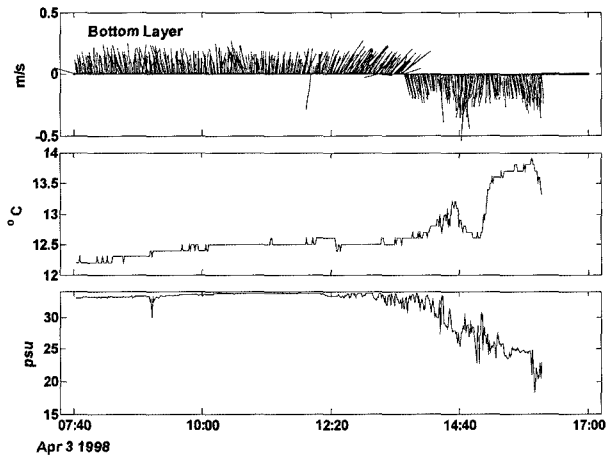
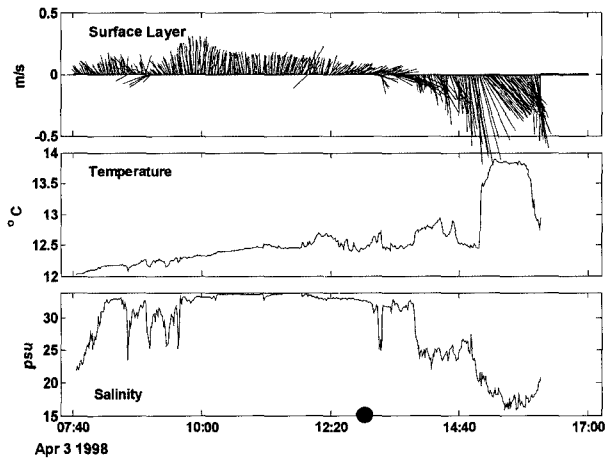


(a) Station K_3 with large discharge

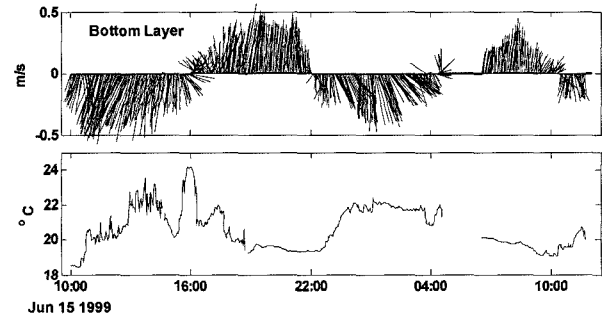
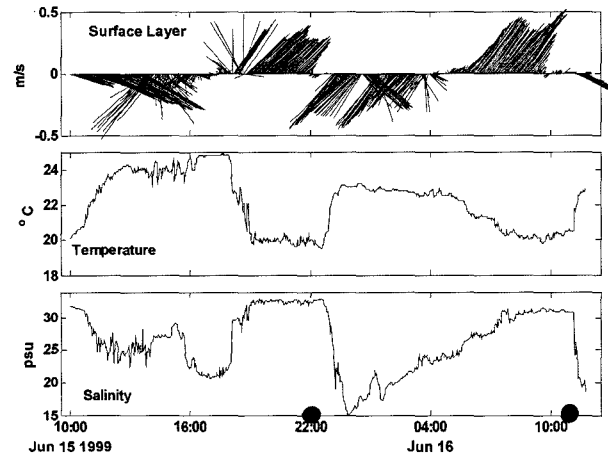


(b) Station K_3 with medium discharge

Fig. 4. Time series of current vectors after construction (●: High Water, ▲: Low Water).



(a) Station L with large discharge



(b) Station M with medium discharge

Fig. 5. Time series of current vectors at the surface and bottom layer (●: High Water).

에서의 거리와 조류의 영향보다는 담수의 유입량에 의해 더 크게 좌우된다는 사실을 확인할 수 있다.

새등과 나무섬등 사이 담수의 유출 경로인 주수로상에서 담수

의 거동을 살피기 위해 방류량이 많았던 L과 평상시인 M 정점에서 표층과 저층에 자기기록식 유속계를 설치하여 관측하였다. L 정점은 소조기인 1998년 4월 3일에, M정점은 대조시인 1999년

6월 15일 관측하였다. 정점 L에선 방류량이 많은 관계로 창조에 비해 낙조류에 강한 흐름을 보였다. 낙조시 표층의 강한 흐름은 남하하는 낙조류와 담수플룸의 이동방향이 일치하여 나타난 현상이다. 정점 M은 낙동강 하구 순환의 길목인 관계로 담수와 해수의 왕래가 잦아 표층 염분은 15~32.3까지 나타나며, L 정점에 비해 방류량이 적었음에도 불구하고 담수의 영향이 더 크게 나타났다. 이로 보았을 때, 낙조시 남하하던 담수와 해수의 혼합수는 제외해로 빠져나가기도 전에 유입되는 창조류의 영향으로 주수로 상을 오르내림을 유추할 수 있다. Fig. 5(a)의 최강유속은 75 cm/sec로 표층에서 나타났고 표층과 저층의 유속 차는 36 cm/sec 이었다. Fig. 5(b)의 최강유속은 67 cm/sec이고 유속 차는 30 cm/sec로 나타났다. M 정점은 L 정점에 비해 방류량은 적지만, 위치가 주수로에 위치하고 북동과 남서방향으로 유동하는 조류로 인해 표층에서 담수의 영향이 L 정점보다 크게 나타났다.

건설 전과 후 모두 K_3 정점에서 담수의 영향이 나타남을 알 수 있고, 건설 후 방류량이 많았을 때는 표층유속이 강하게 나타났지만 상대적으로 미약한 흐름이 관찰되었다. 해조류 관측결과 외해역 정점과 새등에서 나무섬등 사이에 이르는 주수로에서 조류보다 담수의 영향이 우세하게 나타났다. 낙동강 하구 하류부는 건설 전 일반적인 하구의 해수유동에서 하구둑의 방류가 순환을 주도하는 양상으로 바뀌었다.

건설 전 후 해수특성

건설 전의 CTD 관측결과: 정선 관측을 통해 하구둑 건설 전과 후의 흐름 양상을 파악하였으며, 이러한 낙동강 하류부 담수의 거동을 살펴보기 위해 CTD를 이용하여 조사하였다. 건설 전은 주수로를 따라 관측한 자료를 토대로 건설 전의 상황을 살펴보았으며, 건설 후는 하구둑에서 유출되는 담수와 외해에서 유입되는 해수가 직접 만나는 해역인 가덕도 남단에서 다대동에 이르는 선과 을속도를 절개하여 만든 새로운 주수로를 따르는 선을 선정하였다. 조사는 조시와 방류량을 고려하여 실시하였다. 건설 전의 관측 정점을 Fig. 6에 나타내었고, 건설 후는 방류량에 따라 분류하여 Fig. 8과 11에 나타내었다.

Fig. 7은 낙동강 하구의 주수로인 서쪽지류를 따라 낙조시 부표를 띄워 추적하면서 관측한 염분의 수직 단면을 나타낸 것으로(산업기지개발공사, 1985), 구포 부근인 A지점으로부터 을속도 서편 C지점까지 남하하는 담수의 영향으로 뚜렷한 성층이 형성되어 있다. 장자등과 나무섬등 사이의 G지점 남쪽은 전 층이 완전 혼합되어 있다. 대마등 상류쪽인 D지점의 염수뺀기로 보아 D지점 남쪽부터 조류에 의한 혼합작용이 활발하리라 예상된다. 하구둑 건설 전 담수와 해수의 혼합 기작을 보면, 을속도 남단까지 담수의 영향이 지배적이고 대마등 아래부터 혼합이 활발하게 진행되다 장자등과 나무섬등 사이에서 완전 혼합되는 양상을 보여주고 있다. 관측을 통해 알 수 있는 사실은 혼합 양상의 분기점이 대마등 아래지역이라는 것이다.

건설 후 방류량이 많았을 때 CTD 관측결과: 하구둑 건설 후 방류량이 많았던 1993년 9월 1일 대조시에 조시별로 관측한 동서단면을 Fig. 9에 나타내었고, 1997년 7월 22일 대조시에 관측한 남북단면을 Fig. 10에 나타내었다. 동서단면에서 낙조시를 보면, 담

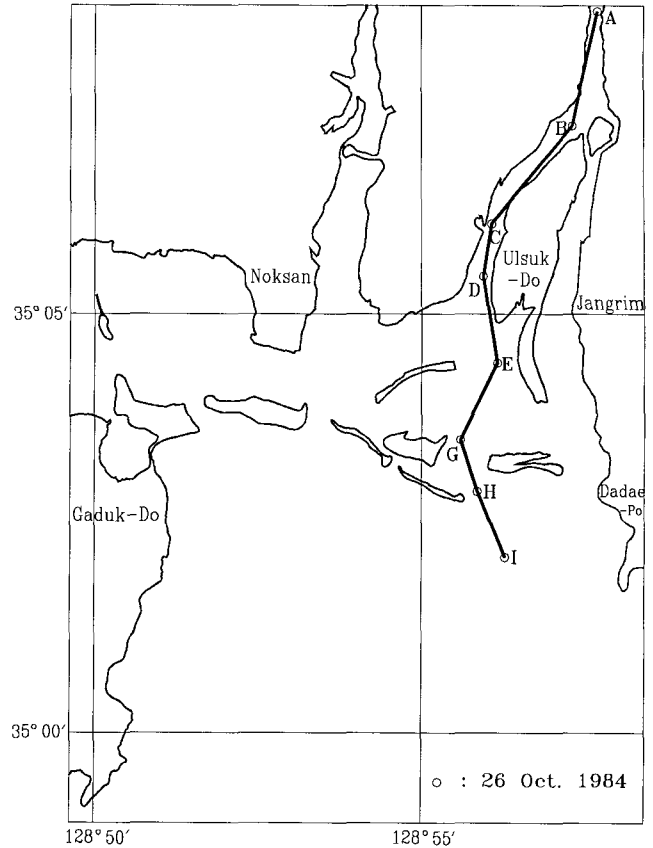


Fig. 6. CTD observation line before construction of Nakdong Barrage.

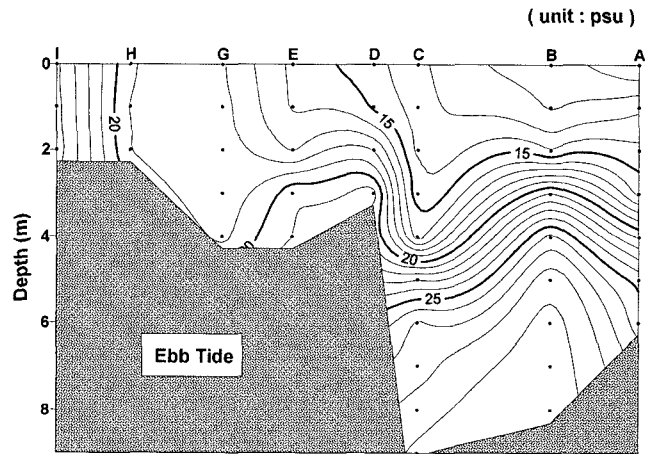


Fig. 7. Vertical distribution of salinity along the North-South section on 26 Oct. 1984.

수의 유입이 많은 관계로 뚜렷한 성층 현상과 두꺼운 담수 층을 볼 수 있다. 주수로 정점 E5에서 유입되는 담수가 뚜렷이 나타난다. 창조시에도 주수로 정점인 F6에서 계속 방류의 영향이 나타나며 북상하는 창조류의 영향으로 가덕도 방향인 서편으로 편향하고 있다. 창조시 여전히 성층은 나타났지만 낙조시에 비해 두께가 얇았고 대마등 지역인 F10에서 남하하던 담수의 재유입을 관찰할 수 있다.

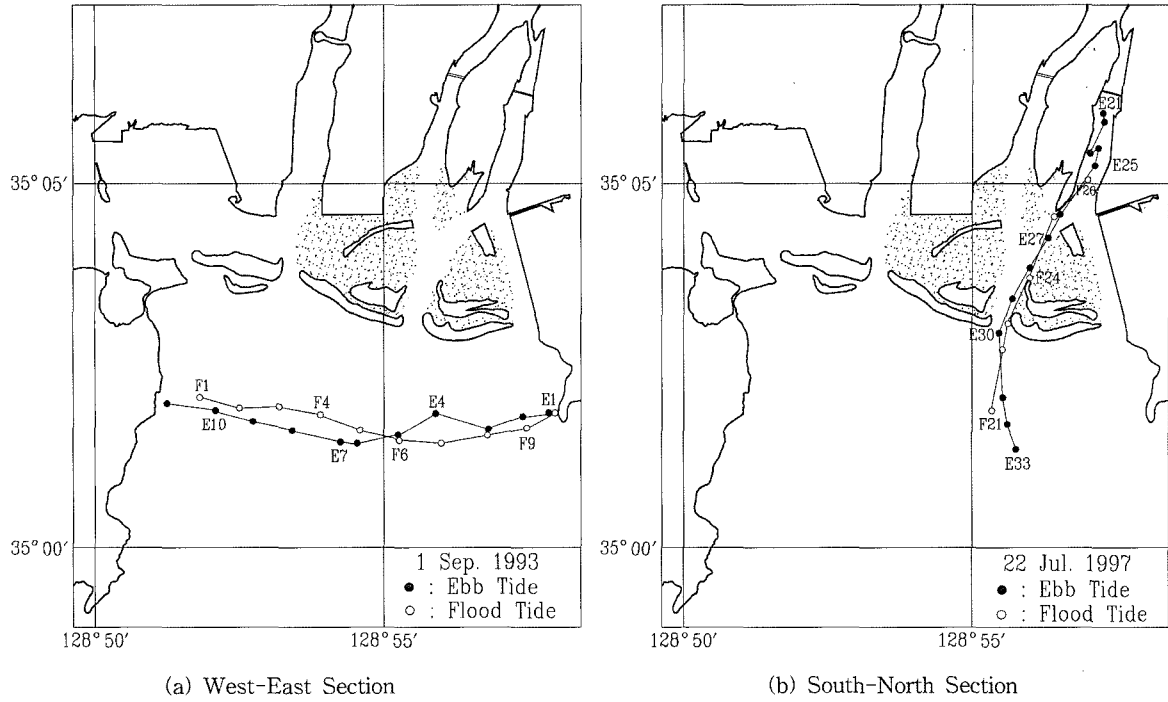


Fig. 8. CTD survey stations in Large Discharge Case.

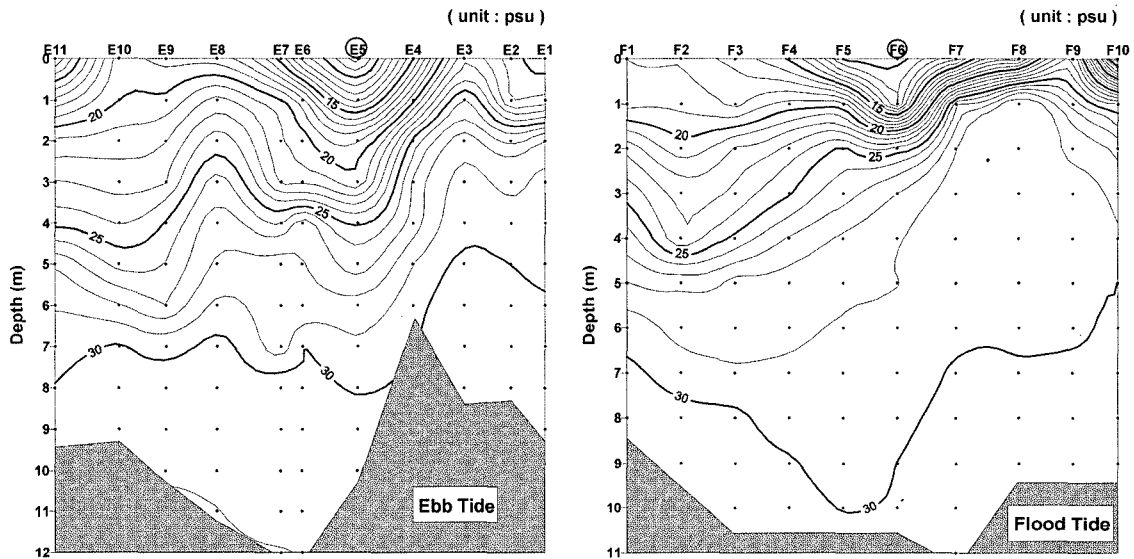


Fig. 9. Vertical distribution of salinity along the West-East section with large discharge.

주수로를 따르는 남북단면은 낙조시 남하하는 담수의 영향으로 하구둑 입구부터 새등과 나무섬등 사이(E21~E30)까지 강한 성층을 보이는 이층 구조가 나타나고, 새등과 나무섬등 아래에서는 염수쇄기가 발견된다. 이후 창조시에도 계속 남하하는 담수로 인해 낙조시보다 더 저염이 나타나 조시보다는 방류량의 영향이 더 클을 다시 한 번 확인할 수 있다. 방류가 많을 때는 주수로를 따라 담수의 영향이 강하게 나타났으며, 하구둑에서 주수로를 따라 담수와 해수가 혼합되는 과정을 볼 수 있다. 또한, 주수로 상에선 수직 혼합 작용이 활발하지 않고 성층 형태로 존재한다는 사실을 알

수 있다.

수문을 완전 개방하였을 경우 담수는 낙조시 담수플룸의 형태로 진행을 하다 점점 주수로를 따라 저층까지 차지하게 된다. 담수와 해수가 만나 형성되는 염분 전선은 새등 아래 지역의 표층에서 형성되며 창조시에도 소멸하지 않고 계속 존재하게 된다. 창조류가 진행함에 따라 해수는 염수쇄기 형태를 띠며 서서히 담수와 혼합이 되면서 다시 하구둑 입구까지 성층을 만들어 담수플룸의 특징적인 양상을 만들게 된다. 이는 다음 조시에도 반복된다. 결국 담수의 영향은 새등 위쪽에서는 조시에 상관없이 강하게 나

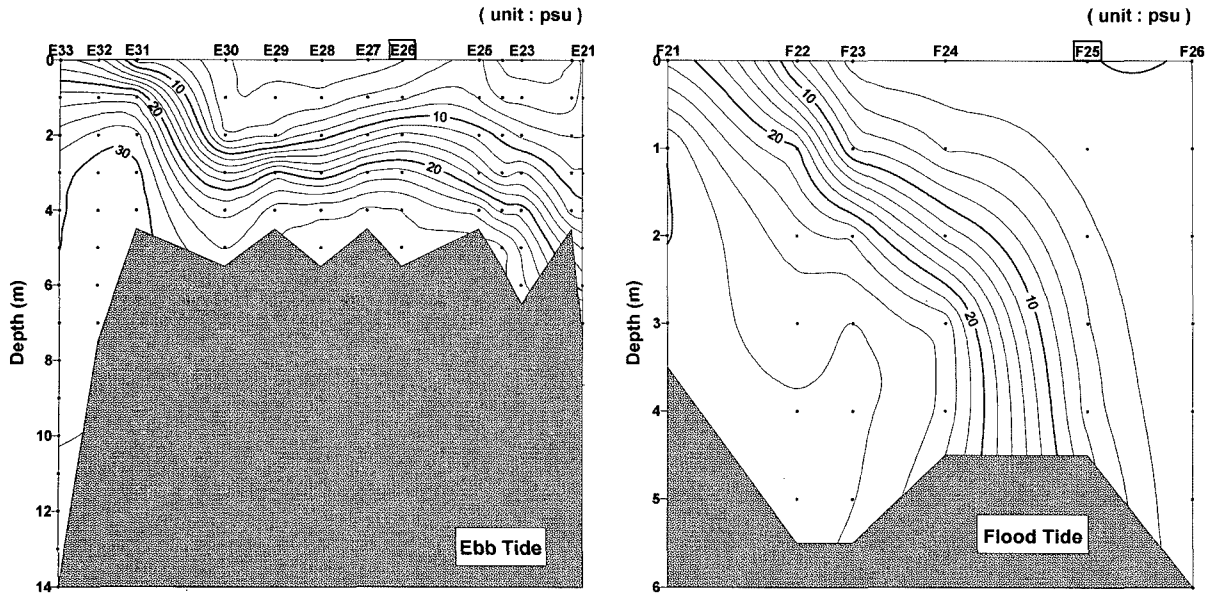


Fig. 10. Vertical distribution of salinity along the South-North section with large discharge.

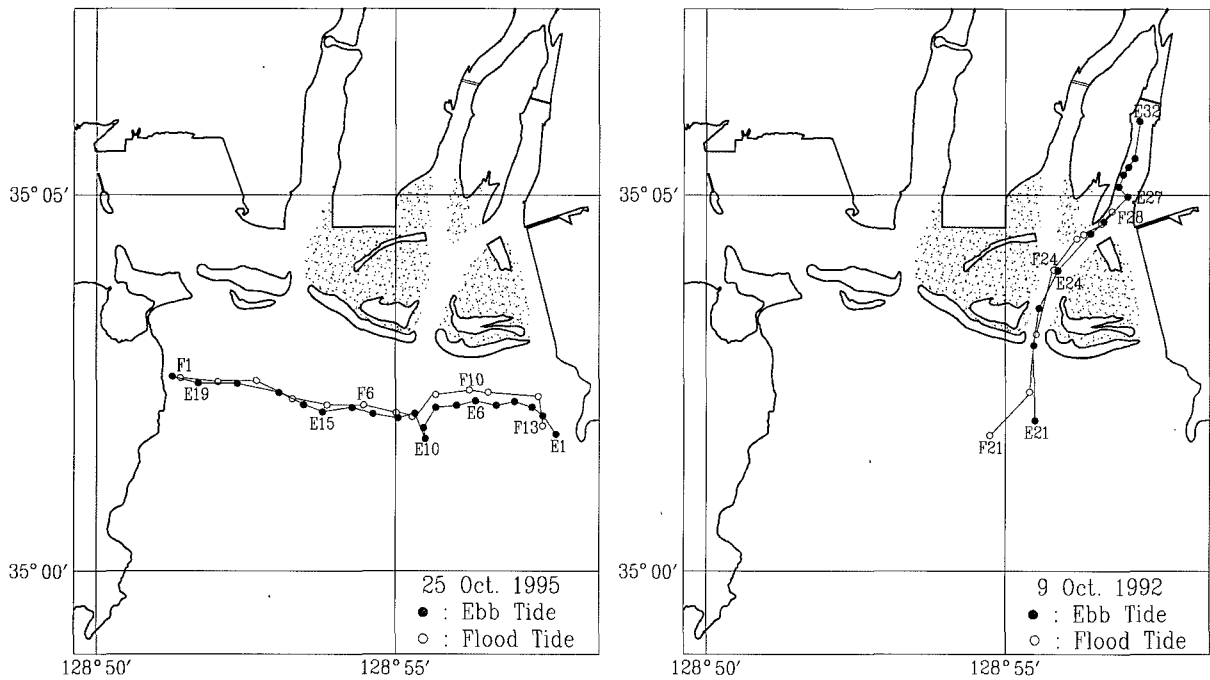


Fig. 11. CTD survey stations in Medium Discharge Case

타나고, 새등 아래지역부터 담수와 해수의 혼합이 서서히 이루어 지게 되는 것이다. 이러한 경향은 하구둑 건설 전에도 유사한 양상을 보여주었다.

건설 후 방류량이 일반적일 때 CTD 관측결과: 하구둑 수문이 조시에 따라 개폐되는 평상시 동서 단면은 대조시인 1995년 10월 25일 관측하였고, 남북단면은 1992년 10월 9일 중조시에 관측하였다(Fig. 11). 동서단면의 낙조시 주수로 정점 E11과 동편 지류인 E3에서 남하하는 2개의 저염층이 담수의 유출 경로를 보여주

고 있다. 주수로에서 낙조시 방류된 유출수의 영향으로 주수로 정점 E11의 표층에 주된 저염 층이 하나 존재하고, 장림에서 다대동을 따라 내려오는 수로에 위치한 정점 E3의 표층에 또 하나의 저염층이 존재한다. 이는 김 등(1996)에서 확인된 바와 같이, 수문이 조시에 따라 개폐가 되는 평상시의 경우, 낙조시 대부분의 담수는 주수로를 따라 흐르고, 일부는 장림에서 다대동의 기존 수로를 흘러 내려움을 보여주는 것이다. 창조시 주수로 상은 밀물시이지만 유출수의 영향으로 저염이 존재하고 있다. 그러나 저염의 층은 낙조시와는 달리 다대동에서 가덕도 방향으로 흐르는 창조

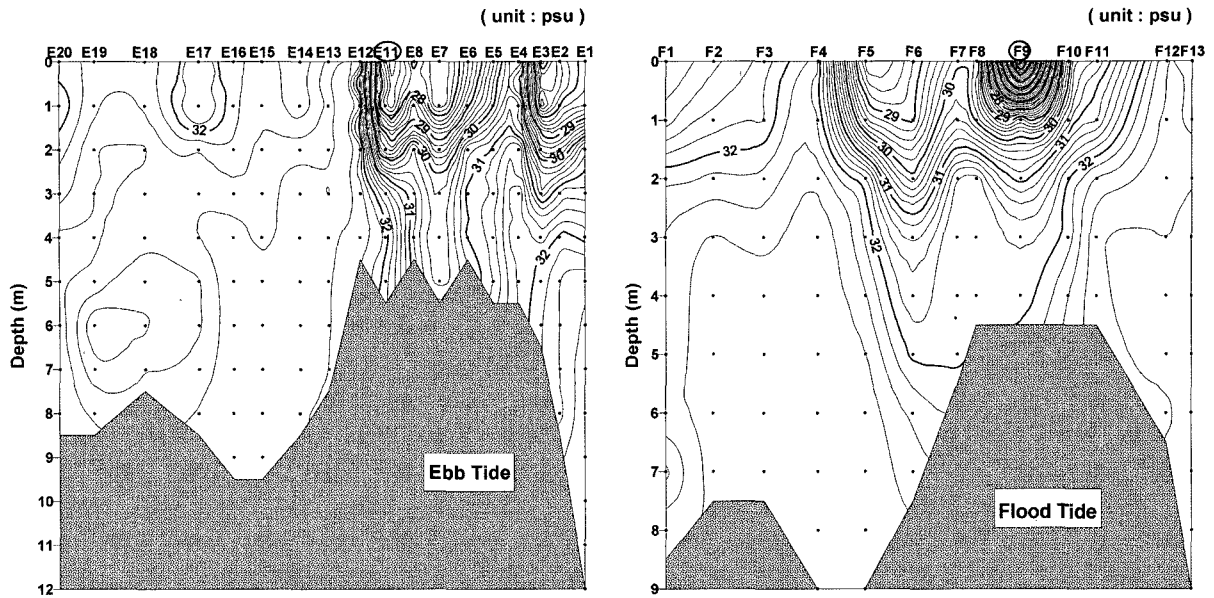


Fig. 12. Vertical distribution of salinity along the West-East section with medium discharge.

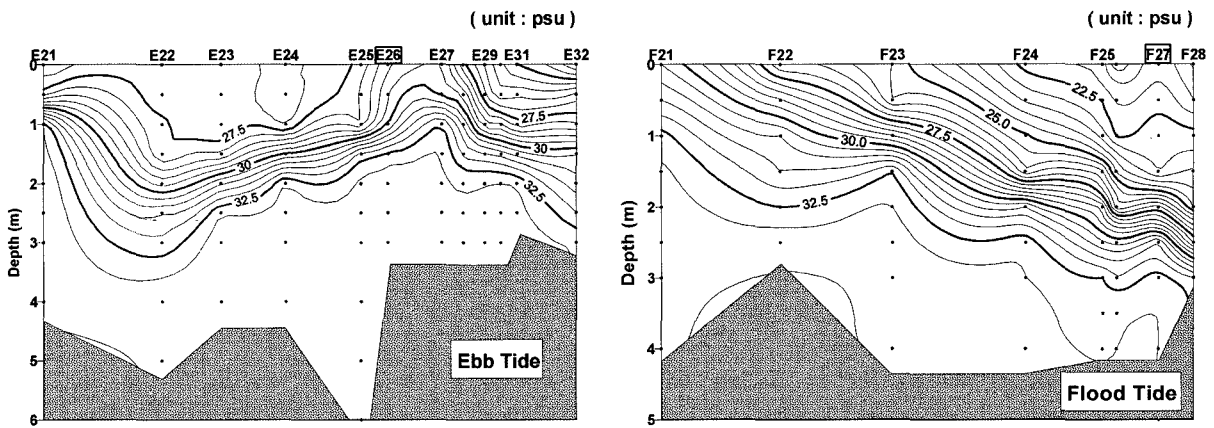


Fig. 13. Vertical distribution of salinity along the South-North section with medium discharge.

류의 영향으로 가덕도 쪽으로 많이 밀려나 있음을 볼 수 있다. 즉, 낙조시 정점 E11의 저염층과 정점 E3의 저염층은 창조류의 영향으로 각각 정점 F5의 저염층과 정점 F8의 저염층으로 나타났으며 가덕도 쪽으로 편향된 결과로 보여진다. 이를 통해 낙조시 하구둑에서 유출된 담수에 의해 형성된 담수플룸의 축은 창조시에 조류에 의해 움직임을 확인할 수 있다. 또한 방류가 많을 시 보였던 가덕도방향의 폐치는 방류량이 상대적으로 적고 대조시라 강한 조류의 영향으로 가덕도 쪽으로 도달하기 전에 혼합이 되어서 나타나지 않고 있다.

주수로 상에서 낙조시 관측한 자료에서도 Fig. 10에 비해 미약하지만 성층이 이루어져 있음을 알 수 있다. 낙조시 담수의 방류로 담수와 해수의 혼합수는 성층을 이루며 을숙도 절개지 정점 E26에서 일부 혼합이 이루어지며 주수로 상을 빠져나간다. 창조시 계속된 방류로 절개지 정점 F27에 낙조시보다 더 저염이 존재하며 새등과 나무싹들 사이 정점 F23에서 북상하는 창조류의 영

향으로 염수 켜기형태를 보인다. 낙조와 창조시 모두 담수의 유입이 보이며 오히려 창조시에 담수의 유입이 많아 조시의 영향보다 담수의 영향으로 담수 층이 두텁게 나타났다.

결론

낙동강 하구는 하구둑의 건설로 새로운 해양환경변화에 직면하게 되었고, 이러한 해양환경변화에 따른 건설 전과 후의 변화양상을 살펴보았다.

- 1) 낙동강 해양환경의 분기점은 하구둑의 건설이며, 을숙도를 절개하여 주수로를 변경하였고 매립을 통해 해안선이 단순해졌다. 이러한 지형 변화는 시주와 등의 발달로 나타났고, 변화는 진행 중이다.
- 2) 해수유동은 건설 전에 비해 상대적으로 약한 흐름을 보였지만, 담수의 방류량이 많으면 조시에 상관없이 제트류의 형태로 강한 흐름을 보여 유출수의 거동이 지배적인 것으로 나타났다.

3) 건설 전과 방류량이 많았던 건설 후 모두 낙조시에 계속 남하하는 담수의 영향으로 강한 성층을 보이는 이층 구조를 나타내었고, 창조시는 전형적인 염수쇄기가 하구둑에서 주수로로 따라 나타났다.

4) 건설 전 조석 간만 차에 의해 유출·입되던 혼합의 분기점은 대마등 아래지역이었으나, 건설 후 수문의 개폐에 의한 갑작스러운 만남으로 건설 전에 비해 아래지역인 새등과 나무섬등 사이로 바뀌었다. 건설 후 수문이 닫혔을 때, 하구둑에서 새등에 이르는 주수로 상에서 혼합되지 않은 담수의 영향이 조시에 상관없이 나타났다.

5) 건설 후 수문이 인위적으로 개폐되는 관계로 완전히 혼합되지 않은 혼합수가 새등 아래 해역에서 패치형태로 나타났다. 이러한 저염의 담수플룸이 주수로 부근과 다대동쪽 수로 2곳에서 뚜렷하게 나타났고, 이러한 담수플룸 패치는 조류에 의해 이동하였고, 창조시 가덕도쪽으로 편향이 되었다. 패치형태의 담수플룸은 창조시에 혼합이 이루어지지만 완전 혼합되지 않은 채 이동함을 확인하였다.

6) 건설 후 낙동강 하구둑 하류부의 순환은 조류보다는 유출수의 거동이 지배적인 형태로 바뀌었다. 주수로 상에서 담수와 해수는 성층화되고 완전 혼합되지 못한 채, 외해로 완전 빠져나가지도 못한 채로 주수로로 따라 오르내리는 것을 관측으로 알 수 있었다.

7) 이러한 변화 양상의 이해는 하구역의 해양 환경 변화에 대처하기 위한 필수적인 사항이며, 지속적인 모니터링으로 통해 변화 양상을 파악하여야겠다.

참고문헌

기상청, 1961-2000년 기상월보.

김영의, 1992. 낙동강 하구언 일대의 수문학적 조사. 인제대 환경연구소 환경연구노트 제1호, 77-86.

류청로, 장선덕, 1979. 낙동강 하구의 조석과 유동. 한국해양학회지, 14: 71-77.

산업기지기개발공사, 1985. '84 낙동강 하구 생태계조사.

유홍선, 1982. The circulation and mixing process in the Nakdongpo Estuary. 서울대대학원 석사논문.

유홍선, 민병언, 신종상, 1984. 낙동강 하수의 혼합 및 순환과정에 관한 연구. 한국해양대학 해사기초과학연구소 논문집, 1: 1-9.

장선덕, 류청로, 이문옥, 이 재철, 1981. 낙동강 하구의 염수운동. 한국해양학회지, 16(1): 31-37.

한건모, 김기철, 김재중, 1993. 명지녹산 해역 매립 후의 해수유동에 관한 연구. 한국해양공학회, 7(1): 441-454.

한국수자원공사, 1987. 낙동강 하구둑 운영관리 보고서. 1-67.

Garvine R. W., 1974. Physical features of the Connecticut River outflow during high discharge. J. Geophys. Res., 79: 831-846.

Garvine R. W., 1975. The distribution of salinity and temperature in the Connecticut River estuary. J. Geophys. Res., 80: 1176-1183.

Garvine R. W., 1977. Observations of the motion field of the Connecticut River plume. J. Geophys. Res., 82: 441-454.

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.

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.

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.

2004년 7월 9일 원고접수

2006년 2월 17일 수정본 채택

담당편집위원: 강석구