

## 영광원자력발전소 주변의 해저퇴적상 변화에 관한 고찰 A Study on the Change in Surface Sedimentary Facies near Youngkwang Nuclear Power Plant

진재율<sup>1</sup>·염기대<sup>1</sup>·오재경<sup>2</sup>·김종학<sup>3</sup>

### 1. 서론

일반적으로 방조제, 방파제, 돌제 또는 호안 등의 연안구조물 축조시 다양한 형태의 수리환경변화로 인하여 주변 퇴적환경의 크고 작은 변화가 필연적으로 수반된다. 따라서, 연안구조물 축조시 그에 따른 퇴적환경변화를 예측하는 것이 필수적이지만, 예측에 앞서 축조전의 퇴적환경을 파악하는 것이 선결과제이다. 그러나, 축조전 자연상태의 퇴적작용을 파악하기 위해서는 장기간의 관측 및 분석이 필요하며, 특히 조석과 파랑의 영향을 동시에 받는 해역의 경우에는 그 관측에 더 많은 주의를 요한다. 공학적인 측면에서 구조물 축조전의 퇴적환경 파악의 주목적은 대상환경이 퇴적학적으로 이미 평형상태에 도달하였는지, 아니면 새로운 평형상태로의 전이과정중인지를 파악하는 것이다. 만일 이러한 평형여부가 구조물 축조전에 파악되지 않으면 축조에 따른 퇴적환경변화 예측의 신뢰성이 문제가 되며, 특히 축조후 침식·퇴적, 해저퇴적상 변화 등의 원인규명이 곤란해질 것이다.

본 연구에서는 저대조차 환경(Hayes, 1979)이며, 조석과 아울러 지형특성상 동계파랑의 영향의 크게 받는 영광원자력발전소 주변에서 1979년부터 1992년에 걸쳐 발생한 해저표층퇴적상 변화에 대해 고찰한다. 영광원자력발전소는 1986년부터 가동하기 시작하였으며, 1979년 이후 발전소 건설을 제외하면 수리 및 퇴적환경변화를 야기할만한 구조물 축조가 없었음에도 불구하고 해저퇴적물 중의 사질 함유비가 약 70%에서 약 30%로 감소한 영역이 있는 반면, 약 40%에서 거의 100%로 증가한 영역이 존재한다. 그러나 불행히도 1979년 및 발전소 가동 직전인 1986년에 대상해역 퇴적환경의 평형여부를 파악할 수 있는 관측이 수행되지 않아 위와 같은 변화의 원인이 대상해역 고유의 퇴적환경 전이작용 때문인지 아니면 발전소 건설 및 가동이 주원인인지 판단할 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 1979년부터 1992년까지 수행된 다양한 현장관측 및 기존연구를 근거로 그 원인을 정성적으로 파악하고자 한다.

### 2. 수리 및 퇴적환경

1979년부터 1992년까지 수행된 다양한 항목에 관한 현장관측을 Table 1에 요약하였으며, 그 관측점은 Fig.1에 도시하였다. 아울러 대상해역의 수운분포 파악을 위해 KORDI(1980) 및 한전(1994)은 대상해역 주변에서 이동관측을 실시하였으며, 특히 한전(1994)은 항공측량을 실시하였다. 또한 KORDI(1980)는 77개 정점에서, 한전(1994)은 51개 정점에서 해저퇴적물을 채취·분석하였다.

관측에 따르면 조위( $\approx 4\text{m}$ ) 및 조류(Max.  $\approx 40\sim 80\text{cm/s}$ )는 거의 변하지 않았다. 또한 한전(1994)의 관측에 따르면 0.8m 이상의 유의파고 출현율은 동계가 31.3%이고 하계는 단지 2%에 불과하였으며, 최빈진입파향은 동계가 WNW(61%), 하계가 W(18%)이었다. 입사파랑의 특성은 변하지 않았다고 볼

- 
1. 한국해양연구소 연안공학연구부
  2. 인하대학교 해양학과
  3. 한국전력공사기술연구원

Table 1. Summary of field survey details.

Item	Site	Location	Period	Observer
Tide	T1	126°16.65'E 35°19.30'N	7/30/92 ~ 9/ 1/92	KEPCO(1994)
	T2	126°26.13'E 35°32.55'N	7/31/92 ~ 9/ 1/92	"
	T	126°24.27'E 35°23.38'N	10/22/79 ~ 11/17/79	KORDI(1980)
			12/22/79 ~ 1/ 9/80	"
			1/22/79 ~ 2/20/80	"
		2/20/80 ~ 3/16/80	"	
Current	C1	126°24.30'E 35°26.00'N	8/ 1/92 ~ 8/23/92	KEPCO(1994)
	C2	126°24.75'E 35°25.80'N	8/ 1/92 ~ 8/23/92	"
	C3	126°25.10'E 35°25.65'N	8/ 1/92 ~ 9/ 5/92	"
	C4	126°24.30'E 35°23.95'N	8/16/92 ~ 9/ 5/92	"
	I	126°23.80'E 35°24.10'N	7/ 1/79 ~ 7/30/79	KORDI(1980)
			9/ 1/79 ~ 9/30/79	"
			11/ 1/79 ~ 11/30/79	"
			1/ 1/80 ~ 1/31/80	"
			3/ 1/80 ~ 3/31/80	"
	D	126°24.80'E 35°25.82'N	9/ 1/79 ~ 11/30/79	KORDI(1980)
			1/ 1/80 ~ 1/31/79	"
			3/ 1/80 ~ 3/31/80	"
	O	126°22.85'E 35°24.16'N	10/ 1/79 ~ 11/30/79	KORDI(1980)
2/ 1/80 ~ 3/31/80			"	
5/ 1/80 ~ 5/31/79			"	
Wave	W	126°21.59'E 35°26.40'N	7/31/92 ~ 9/ 5/92	KEPCO(1994)
			2/28/93 ~ 3/ 9/92	"
	P2	126°18.50'E 35°23.70'N	12/15/92 ~ 12/20/92	KORDI(1992)
Temp.	TR	126°25.00'E 35°25.40'N	8/ 1/92 ~ 9/ 1/92	KEPCO(1992)
SS	S1	126°23.35'E 35°23.56'N	8/16/92	KEPCO(1994)
	S2	126°25.03'E 35°26.26'N	8/17/92	"
	S3	126°24.28'E 35°25.32'N	8/18/92	"
	I	126°23.80'E 35°24.10'N	3/20/80	KORDI(1980)
			6/12/80	"
	D	126°24.80'E 35°25.82'N	3/19/80	KORDI(1980)
			6/13/80	"
Aq	126°20.10'E 35°22.20'N	12/15/92 ~ 12/20/92	KORDI(1992)	

수 있으므로 대상해역의 수리환경의 큰 변화는 없다고 볼 수 있으며, 북서방향으로 노출된 지형적 특성으로 인해 동계에는 파랑의 영향을 크게 받는다. 수온의 경우는 발전소 가동(설계배출수온  $\Delta t = +8.2$  °C)으로 인해 낙조시 배출수온이 남남서 방향으로 약 8~12km까지 확산된다.

대상해역 주변 해저퇴적상의 변화를 Fig.2에, 2개의 대표단면을 따른 변화를 Fig.3에 도시하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 사질 함유비 90% 선이 취수구 선단까지 남하한 반면, 90% 선 바깥 해역과 취수 basin은 크게 세립화되었다.

부유퇴적물의 경우 관측시기의 불일치로 발전소 건설전후의 비교가 불가능하지만, 정온시의 춘추계에는 수심평균농도가 조시에 따라 약 100~300mg/l, 하계 정온시는 약 50~100mg/l 정도이다. 그러나 해양연(1992)의 동계관측치에 따르면 저면으로부터 1.6m 높이에서의 최저농도가 약 250mg/l이고, 약 3m의 유의파고 발생후에는 약 3,000mg/l까지 증가하였다.

### 3. 퇴적환경변화 해석

이상의 관측자료로부터 Fig.2,3의 퇴적상 변화의 원인을 살펴 본다. 발전소 건설전 퇴적작용의 평형여부를 알 수 없으므로 변화원인을 두 가지 상태, 즉 건설전이 전이상태일 경우와 평형상태일 경우로 나누어 해석하여야 한다.

#### 3.1 전이퇴적환경인 경우

건설전이 전이 혹은 평형상태인지 여부는 기존자료로는 정확히 파악할 수 없으나 주변 해역의 해저퇴적상과 동계 부유퇴적물 농도의 조시에 따른 시계열로부터 추측할 수 있다. 즉, 발전소를 중심을 북동방향으로 갈수록 조립질이 우세하고 남서방향으로 갈수록 세립질이 우세하며, 특히 수심 2m 이하에서는 발전소로부터 북북동 방향으로 약 11km 떨어진 곰소만의 조간대까지 사질퇴적물이 우세하다. 또한 Fig.5에 따르면 부유농도의 peak는 대개 창조시에 발생한다.

따라서, 파랑에 의한 저면교란이 활발한 동계의 경우, 기준수심 2m 이하에서는 남서향으로 발달하는 연안류에 의해 사질퇴적물이 남하하는 반면 그 밖의 수심에서의 미세부유퇴적물은, 발전소 남쪽 저면에서 그 함유비가 높으므로 창조시의 농도가 높을 것이다.

이와 같은 해석에 타당하다면, 발전소 인근의 해저퇴적상은 발전소가 건설되지 않더라도 1979년의 분포에서 현재와 같은 분포로 변화할 것이다.

#### 3.2 건설전이 평형상태일 경우

발전소 건설전이 평형퇴적환경일 경우에는 호안전면, 배수구 주변 및 취수 basin을 제외한 건설 전후의 수리환경변화가 무시할 정도이고, 퇴적물의 유입 혹은 소실원이 없으며, 주변 해역 특성의 가장 큰 변화는 수온이다.

#### 수온변화의 영향

미세퇴적물의 응집작용(flocculation)은 입자간의 충돌률( $N$ )과 van der Waal's 인력( $V_A$ )의 영향을 받으며, 분해작용(deflocculation)은 입자간 반발력( $V_R$ )과 흐름전단( $S_F$ )의 영향을 받는다. 또한, 입자간의 충돌작용은 Brown 운동( $N_B$ ), 흐름전단( $N_S$ ) 및 차별침강( $N_D$ )의 영향을 받는다. 일반적으로 미세부유퇴적물의 대표침강속도는 현장관측치에 근거하여 농도의 함수,  $w_{50}(C)$ 로 놓는다. 따라서 농도가 일정하다면 대표침강속도를 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$w_{50} = w_{50}(N, V_A, V_R, S_F). \quad (1)$$

그러나, van der Waal's 인력은 분자의 고유한 내부특성이므로 구성분자가 변하지 않는다면 무시되며, 흐름조건도 일정하다고 가정하면 식 (1)은 다음과 같다.

$$w_{50} = w_{50}(N_B, N_D, V_R). \quad (2)$$

여기서, 각 독립변수에 대한 단순모델은 다음과 같다.

$$N_B = \frac{2kT}{3\mu} \frac{(r_i + r_j)^2}{r_i r_j} n_i n_j, \quad (\text{Smoluchowski, 1917}), \quad (3)$$

$$N_D = \frac{0.7g(\rho_d - \rho_f)}{\mu} (r_i - r_j)^2 |r_i^2 - r_j^2| n_i n_j, \quad (\text{Findheison, 1939}), \quad (4)$$

$$V_R = \left( \frac{64nkT}{x} \right) \gamma^2 e^{-2xd}, \quad (\text{van Olphen, 1987}). \quad (5)$$

여기서,  $r$ ,  $r_i$ ,  $r_j$ 는 입자의 반경,  $n$ ,  $n_i$ ,  $n_j$ 는 단위체적당 입자수,  $k$ 는 Boltzman 상수,  $T$ 는 절대온도,

$\mu$ 는 유체의 점성계수,  $g$ 는 중력가속도,  $\rho_d$  및  $\rho_f$ 는 입자 및 유체밀도,  $\kappa$  및  $\gamma$ 는 계수이다. 따라서 단위체당 유입되는 입자의 크기와 개수가 변하지 않는다고 가정하면, 유체의 점성계수는 온도의 함수이므로 식 (3), (4) 및 (5), 즉 식 (2)는 온도만의 함수이며, 다음의 그 전미분은

$$dw_{50} = \frac{\partial w_{50}}{\partial N_B} dN_B + \frac{\partial w_{50}}{\partial N_D} dN_D + \frac{\partial w_{50}}{\partial V_R} dV_R$$

다음과 같이 단순화시킬 수 있을 것이다.

$$dw_{50} = F(T)dT. \tag{6}$$

이와 같은 가정을 도입하면 수온이 5°C에서 25°C로 상승할 때 입자간 충돌률의 증가는 Table 2와 같다. 그러나, 미세퇴적물의 침강속도에 미치는 수온의 영향에 관한 기존의 연구는 매우 부족하며, 단지 Owen(1972)이 현장 mud를 이용한 Table 3의 실내실험결과가 유용할 뿐이다.

Table 2. Increase in collision rates in a quiescent water column as temperature increases from 5°C to 25°C.

Mechanism	Parameter	Increasing Rate(%)
Brownian motion	$T^{-1}$	7.2
	$\mu^{-1}$	68.4
	$\mu^{-1}$	68.4
Differential settling		
Total		144.0

Table 3. The effect of temperature on the settling velocity of an estuarine mud(after Owen, 1972).

Test index	$T$ (°C)	$C_o$ (g/l)	$S$ (%)	$w_{50}$ (mm/s)
A	5	0.240	29.5	0.14
B		1.240	30.2	0.34
C		3.500	32.4	0.62
A'	25	0.224	30.2	0.32
B'		1.060	31.2	0.75
C'		3.430	31.4	0.74

Owen의 실험에서 초기농도와 염분도는 같다고 볼 수 있으므로 약 1,000mg/l까지는 수온 20°C 증가에 따라 침강속도는 약 2배가 증가하며, 이는 Table 2와 같은 order이다. 단지 초기농도 약 3,000mg/l 이상일 경우는 그 증가율이 미세하며, 이는 고농도에서 발생하는 간섭침강(hindered settling) 때문으로 판단된다.

수온변화에 따른 또 다른 영향은 저서생물을 통한 간접효과이다. Montague et al.(1993)의 실내 실험에 따르면 고령토와 수돗물 혼합체의 퇴적층(KT-bed), KT-bed에 유·무기영양염을 첨가한 KN-bed, KN-bed 표면에 저서미생물을 8일 동안 배양한 KM-bed를 이용한 침식실험결과, KM-bed의 침식율이 Table 5에 나타난 바와 같이 훨씬 작았다.

Table 5. Results of the rotating annular flume study on the microbial effect on sediment erodibility(after Montague et al., 1993).

Parameter	Unit	KT-bed	KN-bed	KM-bed
Critical Shear Stress	N/m <sup>2</sup>	0.10	0.22	0.35
Surface Erosion Rate	$\mu$ g/cm <sup>2</sup> /min	235	40	32
Deeper Erosion Rate	$\mu$ g/cm <sup>2</sup> /min	35	8.7	8.7

이상의 수온영향을 대상해역에 적용시킨다. 먼저 Fig.6에 나타낸 바와 같이 온배수로 인한 수온 상승역은 배수구 인근으로 국한된다. 따라서 배수구 인근의 정조시는 건설전에 비해 부유퇴적물의 침강속도가 증가하여 이에 따라 더 많은 응집체들이 퇴적되며, 이와 같은 현상은 부유퇴적물의 농도가 비교적 높은 동계에 활발할 것이다. 그러나 이와 같이 일시적으로 퇴적된 응집체들은 파랑에 의해 쉽게 재부유되어 보다 깊은 수심으로 이동할 것이다. 결과적으로 배수구 주변은 부유퇴적물의 일시적인 저장소로 작용할 것이다. 또한 mud 층은, 수온상승이 특히 겨울철에 저서생물에게 보다 좋은 서식환경을 제공함에 따라 그 전단강도가 증가되어 건설전에 비해 재부유율이 감소할 것이다.

### 구조물의 영향

Fig.2에 나타낸 바와 같이 취수 basin은 세립화되었으며, 호안전면은 조립화되었다. 이는 구조물 축조에 의한 전형적인 퇴적상 변화로서, 취수 basin의 경우 유속약화 및 파랑차단으로, 호안전면의 경우는 반사파에 의한 파랑에너지 증가가 그 원인이다.

### 4. 결론 및 토의

이상으로 1979년부터 1992년까지 영광원자력발전소 인근의 퇴적상 변화의 원인을 기존자료를 근거로 해석하였다. 분석결과, 퇴적상 변화는 발전소가 주원인은 아닌 듯 하며, 건설전의 전이퇴적작용과 발전소 건설효과가 복합적으로 작용하였을 것으로 판단된다.

그러나 현재로서는 그 상대적 중요성의 규명은 어려우며, 이를 위해서는 표층 약 50cm 이내를 교란시키지 않는 시추퇴적물을 채취하여, 반감기가 20-30년인 방사성 동위원소  $^{210}\text{Pb}$ (22.3년) 혹은  $^{137}\text{Cs}$ (30년)을 이용한 퇴적율 조사를 실시하여야 할 것이다.

### 참고문헌

- 한국전력주식회사. 1994. 원자력발전소의 온배수 영향 저감방안 연구-1차 중간보고서(영광원전), 336pp.
- 한국해양연구소. 1992. 서해연안 미세퇴적물 이동 연구(III). BSPG00154-494-2, 113pp.
- Findheisen, W., 1939. *Meteo. Z.* 56:356
- Hayes, M.O., 1979. Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: *Barrier Islands*. Edited by S.P. Leatherman. Academic Press, New York, USA, pp1-27.
- KORDI, 1980. Oceanographic studies for Yeonggwang nuclear power plant. BSPI00019-1-35-1, Korea Ocean Res. and Develop. Insti., 348pp.
- Montague, C.L., M. Paulic and T.M. Parchure, 1993. The stability of sediments containing microbial communities: Initial experiments with varying light intensity. In: *Nearshore and estuarine cohesive sediment transport*. A.M. Mehta edited. Series No. 42 of Coastal and estuarine studies, American Geophysical Union, Washington DC, USA, pp348-359.
- Owen, M.W., 1972. The effect of temperature on the settling velocities of an estuarine mud. INT 106, Hydraulic Research Station, Wallingford, UK, 5pp.
- Smoluchowski, M., 1917. Versuch einer mathematischen theorie der koagulationkinetik kolloider lusungen. *Ann. Physik. Chem.*, 92:129-168.
- van Olphen, H., 1987. Dispersion and Flocculation. In: *Chemistry of clays and clay minerals*. edited by A.C.D. Newman. John Wiley & Sons, New York, USA, 480pp.

Fig. 1 Map showing the study area and observation points.

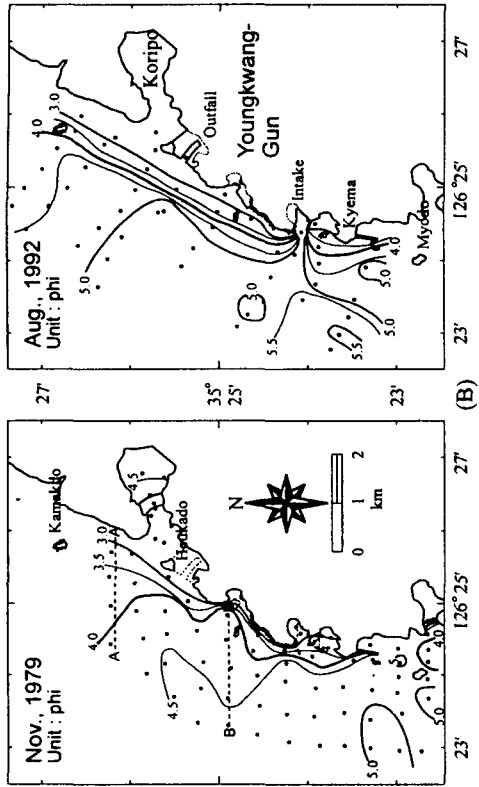
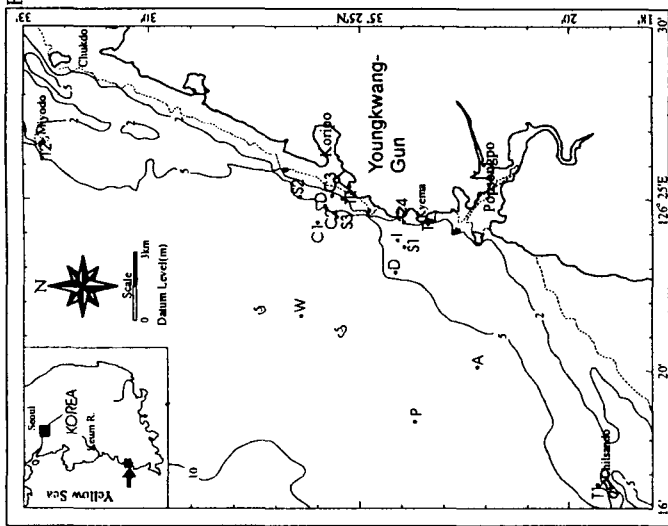


Fig. 2 Change in sand content (A) and mean diameter (B) of bottom sediment.

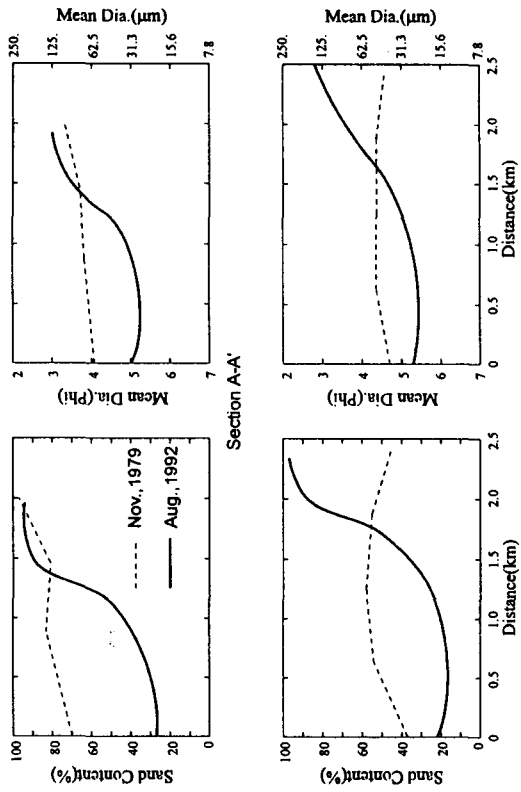
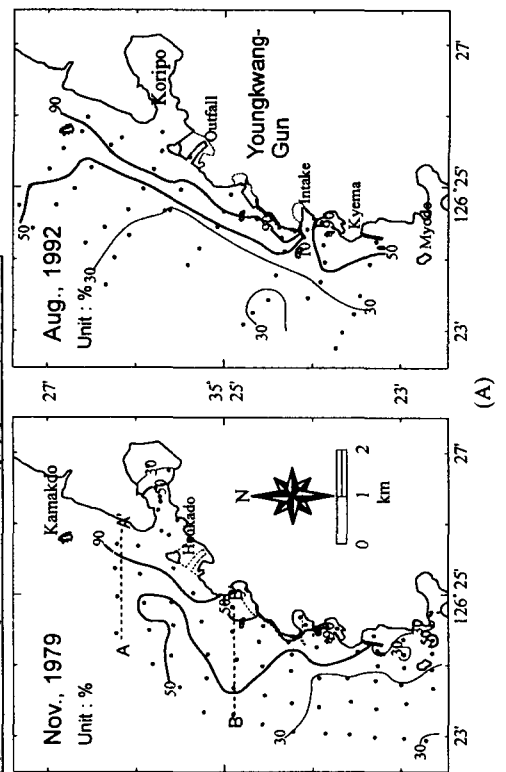


Fig. 3 Change in sand percent and mean diameter along selected sections.



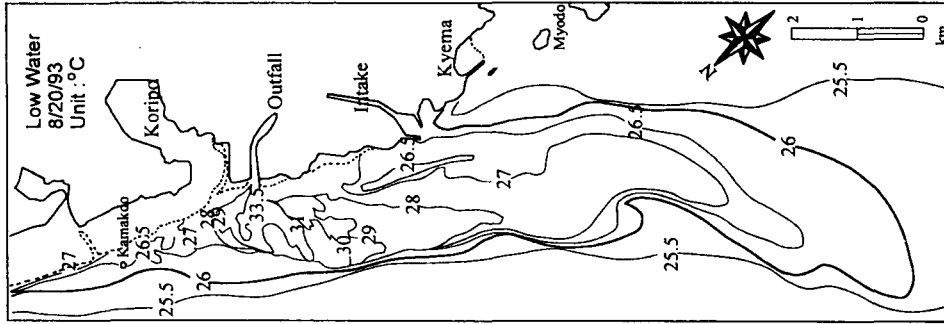


Fig.6 Representative horizontal distribution of surface temperature at low water of spring tide in summer season from calibrated aerial scanning.

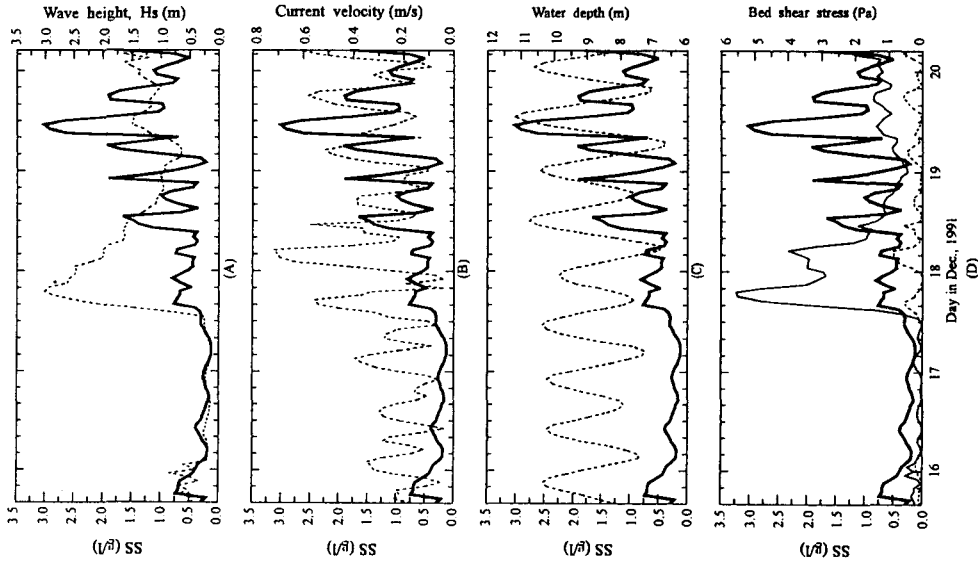


Fig. 5 Time variations of SS concentration 1.6m above the bottom and hydraulic parameters in winter season ; solid bold lines are SS concentration, fine line of (D) is stress due to wave and flow, dotted line of (D) is due to only tidal flow.

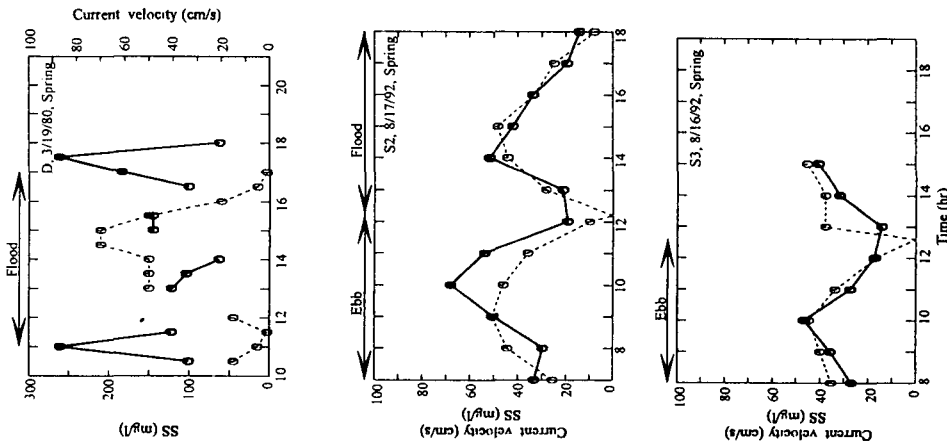


Fig.4 Observed time variations of depth-mean current velocity(dotted line) and SS concentration(solid line) in spring and summer seasons.