

# Selective Suspension of Sediment under Waves and Currents on the Inner Shelf

이 관 홍

한국해양연구원 연수연구원

## 1. Introduction

Sandy shoreface에서 외해로 가면서 퇴적물의 입경이 작아지는 퇴적물의 분급이 이루어지고 있다는 것은 잘 알려진 사실이다 (e.g., Inman, 1953; Niedoroda et al., 1985; Bailard and Bowen, 1981; Guillen and Hoekstra, 1996). 이러한 cross-shore의 퇴적물 입경 분급에 중요한 mechanism은 표층에서 상대적으로 큰 입자들이 bedload로 해안으로 이동하는 반면, 표층에서 높이 부유한 부유 퇴적물이 외해로 운반되는 양 방향 퇴적물 이동이라고 할 수 있다. 이런 이유 때문에 한 지점에서 연직방향의 퇴적물 농도 분포와 퇴적물 입경 분급에 대한 많은 연구가 진행되었다. Selective suspension (선택적 부유)과 이에 관련된 퇴적물 농도의 연직 분포에 대한 실험실과 현장에서의 관측을 통하여 많은 지형학자, 지질학자, 해양학자 및 공학자들은 연직 방향의 분급작용이 표층에서부터 시작되고 표층의 퇴적물 입경 분포가 부유 퇴적물의 입경 분포에 영향을 미친다고 밝히고 있다 (e.g., Kennedy et al., 1981; Nielsen, 1983; Hay and Sheng, 1992; Osborne and Greenwood, 1993; Lynch et al., 1994; Wang et al., 1998; Sternberg et al., 1999; Agrawal and Traykovski, 2001; Greenwood and Xu, 2001). 그러나 표층 퇴적물과 부유 퇴적물 사이의 관계뿐만 아니라, 역동적인 해수 유동 사이의 관계는 정성적인 분석이 대부분이다. 본 논문에서 여러 입경의 분포를 고려해야하는 자연환경에서 끊임 없이 변화하는 유속에 따라 나타나는 선택적 부유를 정량적으로 고찰한다. 즉, 미국 동부 해안과 영국 스코틀랜드 해안에서 Acoustic Backscatter Sensor(ABS)로 측정된 부유퇴적물 profile를 이용하여 표층 퇴적물과 부유퇴적물의 상대적인 입경 변화를 fluid forcing의 함수로 나타냈다.

## 2. Data and Environmental Conditions

Shoreface에서 선택적 부유를 시험하기 위해 2001년 4월에 스코틀랜드의 Dounreay 앞바다 20 m 수심과 미국 노스캐롤라이나 주의 Duck 외해 13 m 깊이 해저 경계층에서 해수유동과 퇴적물 농도

를 측정하였다. 표 1은 두 실험이 이루어진 지역과 사용된 기기의 특성을 나타내고 있으며, 그림 1은 두 실험 지역과 야외 실험 당시 사용 기기의 배치도를 보여주고 있다. 실험에 사용한 기기는 한 지점에서 유속을 측정하는 Electromagnetic Current Meter, Acoustic Doppler Velocimeter 및 Nortek Vector를 들 수 있으며, 퇴적물 농도의 연직 분포를 측정하는 Acoustic Backscatter Sensor(ABS), 파랑 유동에 따른 압력 변화를 측정하는 Pressure Sensor, 그리고 해저 퇴적 지형을 측정하는 Rotating Side-scan Sonar를 들 수 있다. ABS는 표층에서 약 80 cm 높이에 아래를 향하게 배치하여 1 cm 간격의 퇴적물 농도를 측정한다. ABS calibration과 자료 분석은 Lee et al. (2002; 2003a; 2003b)에 자세하게 나타나 있다.

그림 2는 실험 당시 mean current velocity ( $u_c$ ), near-bed orbital velocity ( $u_b$ ), wave period (T), and shear velocities ( $u_{*sf}$ ,  $u_{*cw}$  and  $u_{*c}$ )의 시계열 자료를 보여주고 있다. 유속 자료의 분석은 Grant 와 Madsen(1986)의 wave-current interaction model을 이용하였으며, 분석 방법은 Lee et al. (2002; 2003a)에 자세히 기술되어 있다. 여기에서  $u_{*sf}$ 는 표층에서 퇴적물 입자가 움직이기 시작하는 임계 마찰계수를 나타낸다.  $u_{*cw}$ 는 wave boundary layer(WBL)에서 wave와 current의 영향에 의해 발생하는 마찰계수로 퇴적물을 부유시키는 난류(turbulence)의 세기를 의미하는 반면,  $u_{*c}$ 는 current의 의해 발생하는 마찰계수로 wave boundary layer(WBL) 밖에서 퇴적물의 부유시키는 난류의 세기를 나타낸다.

표 1. Characteristics of two experiments

Data		Dounreay	Duck
Site		Dounreay, Scotland, UK	Duck, NC, USA
Year		2001	1996
Depth (m)		20	13
Flow Sensor	Type	Nortek Vector	EMCM
	Height (cm)	30	98
	Sample Rate (Hz)	5	1
	Sample Duration (min)	7	12
	Sample Interval (Hr)	1.5	2
ABS	Acoustic Frequency (MHz)	2	2
	Height (cm)	80	88
	Sample Rate (Hz)	5	5
	Sample Duration (min)	7	12
	Sample Interval (Hr)	1.5	2
Median size of bed sediment ( $\mu\text{m}$ )		290	120

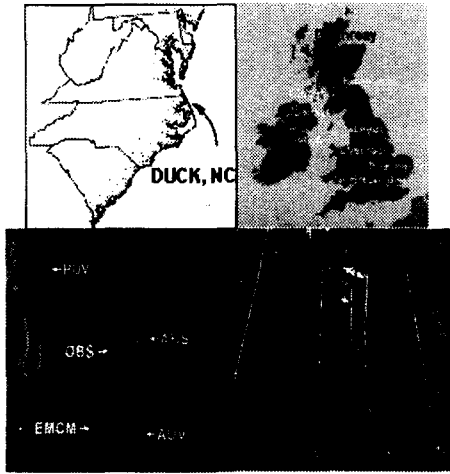


그림 1. Experiment sites and instrumentation.

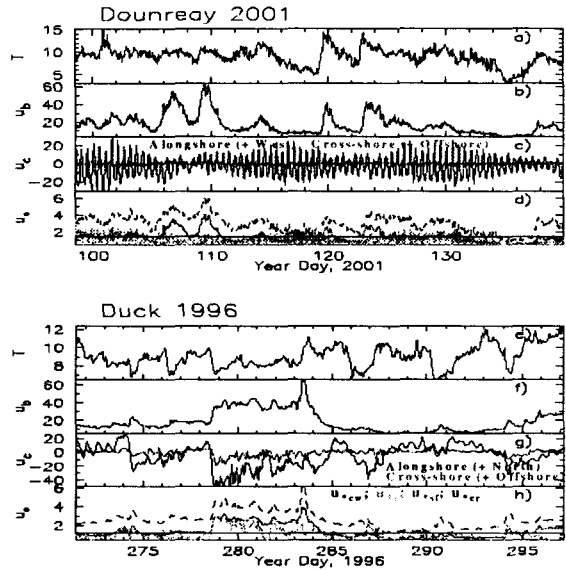


그림 2. Time-series of environmental conditions during the Dounreay and Duck experiments.

### 3. Effective Settling Velocity, $w_e$

본 장에서 ABS로 측정된 퇴적물 농도 연직 분포를 가지고 유효 침강속도(effective settling velocity)를 측정하는 방법을 기술한다. 먼저 표 1에서 나타난 것처럼 ABS의 각 sample interval마다 sample duration 동안 sample rate로 측정된 자료의 평균값을 얻는다. 그리고 퇴적물 농도의 1 cm에서 20 cm의 연직 부분을 취하여 Rouse-type equation으로 회기 분석한다. Rouse-type equation은 다음과 같다.

$$C = C_r(z/z_r)^{-P} \quad (1a)$$

$$P = w_e/\kappa u_* \quad (1b)$$

여기에서 C는 높이 z에서의 퇴적물 농도 (g/l),  $C_r$ 은 표준높이  $z_r$ 에서의 표준농도(g/l), P는 Rouse 수,  $w_e$ 는 유효 침강속도(cm/s), 그리고  $\kappa$ 는 von Karman 상수( $\approx 0.4$ )이다. 퇴적물 농도를 회기 분석하여 얻은 상수인 표준농도에 대한 연구 및 결과에 대한 자세한 보고는 Lee et al.(2003b)에서 찾을 수 있다. 본 논문의 주제인 유효 침강속도는 2장에서 기술한 wave-current interaction model을 사용하여 얻은  $u_{cw}$ 나  $u_{sc}$ 를 식 (1b)에 대입하여 구할 수 있다.

#### 4. Selective Suspension of Sediment

그림 3는 표층 퇴적물의 중간값으로 침강속도( $w_s$ )를 계산하고, 이 값과 부유퇴적물의 유효 침강속도( $w_e$ )의 비율을 역 Rouse수 (inverse Rouse Number,  $u_{*sf}/w_s$ )의 함수로 나타냈다. 부유 퇴적물의 크기는 외력(forcing)에 따라 다르게 나타난다. 역Rouse수가 1에 접근하면 부유 퇴적물의 입경은 표층 퇴적물의 입경에 접근한다. 그리고,  $u_{*sf}/w_s$ 가 감소하면 부유 퇴적물의 입경이 감소하고,  $u_{*sf}/w_s$ 가 증가하면 부유 퇴적물 입경이 증가하는 패턴을 보여주고 있다. 이 결과는 유체의 세기에 따라 퇴적물 입자가 선택적으로 부유하는 것을 의미하고 있다.

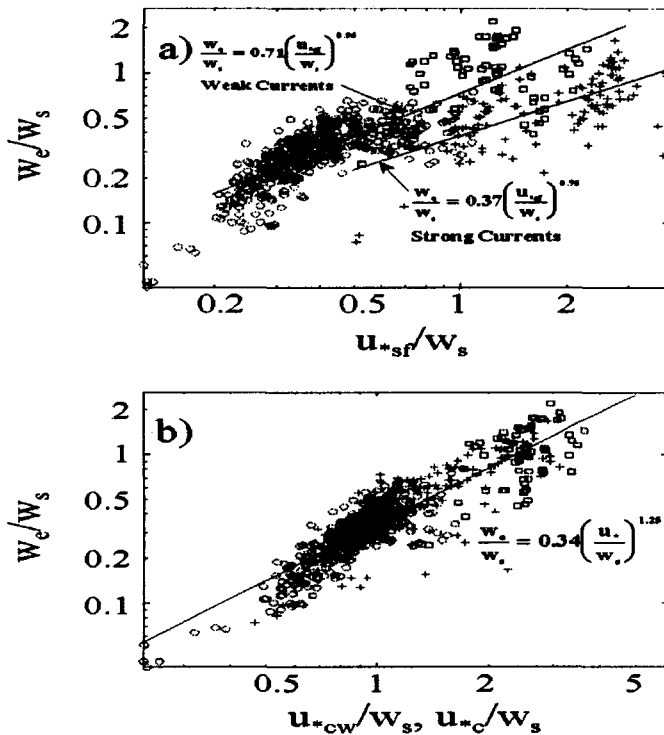


그림 3. a) Relative settling velocity of suspended to bed sediment as a function of inverse Rouse number ( $u_{*sf}/w_s$ ); b) Relative settling velocity of suspended to bed sediment as a function of inverse Rouse number ( $u_{*c}/w_s$  or  $u_{*cw}/w_s$ ). circle Dounreay.

## ■ 참고문헌

---

- Agrawal, Y.C., Traykovski, P., 2001. Particles in the bottom boundary layer: concentration and size dynamics through events. *J. Geophys. Res.* 106, 9533-9542.
- Inman, D.L., 1953. Areal and seasonal variations in beach and nearshore sediments at La Jolla, California. US Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech. Memo., 34, 82 pp.
- Guillen, J., Hoekstra, P., 1996. The equilibrium distributions of grain size fractions and its implications for cross-shore sediment transport: a conceptual model. *Mar. Geol.* 135, 15-33.
- Hay, A.E., Sheng, J., 1992. Vertical profiles of suspended sand concentration and size from multifrequency acoustic backscatter. *J. Geophys. Res.* 97, 15661-15677.
- Kennedy, S.K., Ehrlich, R., Kana, T.W., 1981. The non-normal distribution of intermittent suspension sediments below breaking waves. *J. Sed. Petrol.* 51, 1103-1108.
- Lee, G., Dade, W.B., Friedrichs, C.T., Vincent, C.E., 2003b. Examination of reference concentration under waves and currents on the inner shelf. *J. Geophys. Res.* in press.
- Lee, G., Dade, W.B., Friedrichs, C.T., Vincent, C.E., 2003a. Spectral analysis of bed shear stress using suspended-sediment concentrations in a wave-current boundary layer. *J. Geophys. Res.*, 108(C7), 10.1029/2001JC001279.
- Lee, G., Friedrichs, C.T., Dade, W.B., Vincent, C.E., 2002. Examination of diffusion versus advection dominated sediment suspension on the inner shelf under storm and swell condition, Duck, NC. *J. Geophys. Res.* 107(C7), 10.1029/2001JC000918.
- Lynch, J.F., Irish, J.D., Sherwood, C.R., Agrawal, Y.C., 1994. Determining suspended sediment particle size information from acoustic and optical backscatter measurements. *Cont. Shelf Res.* 14(10/11), 1139-1165.
- Niedoroda, A.W., Swift, D.J.P., Hopkins, T.S., 1985. The shoreface. In: Davis Jr., R.A. (Ed.), *Coastal sedimentary environments*. Springer, New York, pp. 533-624.
- Nielsen, P., 1983. Entrainment and distribution of different sand sizes under water waves. *J. Sed. Petrology.* 53, 423-428.
- Osborne, P.D., Greenwood, B., 1993. Sediment suspension under waves and currents: time scales and vertical structure. *Sedimentology.* 40, 599-622.
- Sternberg, R.W., Berhane, I., Ogstorn, A.S., 1999. Measurement of size and settling velocity of suspended aggregates on the northern California continental shelf. *Mar. Geol.* 154, 43-53.
- Wang, P., Davis, Jr. R.A., Kraus, N.C., 1998. Cross-shore distribution of sediment texture under breaking waves along low-wave-energy coasts. *J. Sed. Petrol.* 68, 497-506.