

# 죽변 해안에서의 형광사 이동 관측

## Measurement of Fluorescent Tracers at Chukpyon Coast

김효섭\*, 정원무\*\*, 염기대\*\*, 이희운\*\*\*, 김용균\*\*\*\*

### 1. 개요

죽변항 입구의 매물 현상의 기구를 이해하고 이를 억제하기 위한 방안을 도출하기 위하여 포항지방해운항만청은 1986년부터 1989년까지 유일종합기술단과 한국해양연구소에 조사를 의뢰하였다. 이 조사연구의 한 항목으로서 형광사를 이용하여 퇴적물 이동을 관측하였다(포항지방해운항만청, 1988 참조).

형광사를 이용하여 모래질 퇴적물의 이동양상을 파악하려는 시도는 Zenkovitch(1958)에 의해 처음으로 행해졌으며, Russell(1960)은 표사량 산정의 정량적 측정 수단으로 형광사 조사를 실시한 바 있다. 1960년대에 영국의 Hydraulics Research Station에서 주로 하천의 퇴적물 이동을 조사하기 위하여 이용되었다(Crickmore, 1962, 1967). 그 후 현재까지 여러 연구자들에 의해 좁게는 쇄파대 내를 대상으로, 넓게는 수 백-수 천 미터에 달하는 해역을 대상으로 형광사를 이용한 조사가 수행되었으며, 그 목적은 대부분 연안 표사량 산정에 있었다.

형광사 관측자료를 이용하여 연안의 쇄파대 내에서의 극부적 표사량을 계산하고 그 결과를 이용하여 표사량을 산정하는 방법으로서 Russell(1960)의 정상 희석법(steady dilution method), Kadib(1972)의 시간 적분법(time integration method), Komar and Inman(1970)의 공간적분법(spatial integration method), Nadaoka et al.(1981)의 시간·공간 적분법이 있다. 본 조사에서는 Nadaoka et al.(1981)이 표사량 산정시에 이용한 평균 이동 속도의 계산방식을 간략화하여 공간적분만 수행하여 퇴적물 이동 평균 속도를 구하였다.

### 2. 현장 관측 방법

관측점은 관심의 대상이 되는 3개점으로 선택하였다. 표사 관측용으로 보통 사용하는 도료의 색은 적, 녹, 황등색 및 청색인데, 이 중 청색은 식별이 어렵고 표지 또는 종이 등 일상 용품에도 흔히 사용되고 있는 실정이다. 따라서 본 조사에서는 이들이 유입될 우려를 없애기 위하여 적색, 녹색, 황등색을 선택하였으며, 각 색당 70 kg을 착색용으로 사용하였으며, 3개 투입 위치에 각 1개의 색을 사용하였다.

기 조사된 해저질 분석자료를 참고로 하여 투하 예정지점의 저질과 특성이 비슷한 봉평해수욕장 부근 해변의 모래를 채취하여 #40 체(0.42 mm) 통과, #200 체(0.074 mm) 잔류 체가름을 실시하였다. 체가름한 모래 약 3.2 톤을 인근 왕피천에서 세척하여 염분을 제거하였으며, 도료의 접착이 좋게 하였다. 세척한 모래는 콘크리트 포장도로 위에서 완전히 건조시킨 후 형광사 예비 배합을 통해 도료의 코팅 정도 및 배합 정도를 결정하였다. 예비 배합을

---

\* 국민대학교 토목환경공학과  
\*\* 한국해양연구소  
\*\*\* 유일종합기술단  
\*\*\*\*해운항만청

통해 선정된 모래와 도료의 비율은 모래 50 kg 대 도료 3.5 kg이었다. 도료를 코팅한 형광사를 비닐 시트 위에서 그늘에서 건조시켰으며, 건조과정에서 계속하여 손으로 비비는 작업을 하여 엉김을 방지하였다. 제작과정에서 색 끼리 섞이지 않게 주의하였으며 건조된 형광사는 각 색을 50 kg 씩 20 포대로 포장하여 습기가 없는 곳에 보관하였다.

3 개 투입 지점은 관심이 되는 죽변항 입구에 1 개소, 죽변항 남, 북측에 각각 1 개소로 선정하였다. 형광사를 예정지점에 투입하고 나서 추후 채취를 위하여 투입 지점에 표시 부이를 남겨 두었다. 또한 투입 지점의 8 방향으로 8 개의 기준점을 잡아 표시 부이를 남겼다.

형광사의 채취는 각 투입점에 대해 3 차에 걸쳐 실시하였다. 채취 위치는 투입점을 중심으로 8 방향으로 1 차(투하 후 4 일)에는 20, 40, 60, 80, 110, 140, 170, 200 m 지점에, 2 차(투하 후 14 일)에는 40, 80, 130, 180, 230 m 지점에, 3 차(투하 후 26 일)에는 30, 60, 90, 140, 190, 240 m 지점을 선택하였다. 채취점의 위치는 줄자를 이용하여 찾았으며, 육분의를 이용하여 확인하였다. 그랩을 이용하여 저질을 채취하였으며, 한번에 약 150-200 cc를 채취하였다.

### 3. 분석 결과

비닐 봉지에 보관해둔 시료를 자연 건조 후 100 g 씩을 분석 자료로 이용하였다. 시료를 암실에서 계수판(가로 100 cm, 세로 10 cm) 위에 얇게 편 후 적외선을 비추어 형광사 입자수를 색깔 별로 세었다. 3 차에 걸쳐 채취한 형광사의 입자 갯수를 Fig. 1의 형태로 제시하였다. 전반적인 해저 퇴적물의 이동 방향을 Fig. 2에서 볼 수 있다. 즉 1 지점에서는 SW 방향으로, 2 지점에서는 NE 방향으로, 제 3 지점에서는 N 방향으로 이동하였음을 알 수 있다.

### 4. 퇴적물 이동 방향과 이동량 계산

먼저  $x, y$  축을 선정하고, 시각  $t=t_0$  에서 특정 지점  $(x_0, y_0)$  에 일정량의 형광사를 투입한 후 시각  $t=t$  에서 투입점을 중심으로 반경  $R$  인 원주상의 임의의 점에서 형광사 농도를 측정한다. 즉, 시각  $t=t_0$  에서 중심점  $(x_0, y_0)$  에 있던 모래 입자가 시각  $t=t$ 에서 원주상의 어떤 위치에 존재할 확률을 나타내어 모래입자 운동의 불규칙성을 반영하게 된다. 이러한 확률 개념을 이용하여 형광사 입자의 평균 이동 속도는 다음과 같이 산출할 수 있다. 중심점과 관측점의 연장선이  $x$  축과 이루는 각을  $w$ 라 할 때, 형광사의 농도  $c(w,t)$  는 시각  $t$  에 원주상의  $w$  방향의 위치에 형광사 입자가 존재할 확률에 대응하고 있다. 이 때 형광사 입자가 이동시간  $t$  동안에  $x, y$  방향으로 각각  $R \cos w, R \sin w$  만큼 이동한 것으로 볼 수 있으므로 이동속도는 각각의 방향으로  $(R \cos w)/t, (R \sin w)/t$ 이다. 따라서  $x, y$  방향의 평균이동 속도  $u_m, v_m$ 은 그 확률 평균을 취하여 다음식으로 나타낼 수가 있다.

$$u_m = \frac{\int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} c(w,t) \frac{R \cos w}{t} dw dt}{\int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} c(w,t) dw dt}$$

$$v_m = \frac{\int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} c(w,t) \frac{R \sin w}{t} dw dt}{\int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} c(w,t) dw dt}$$

형광사의 평균이동방향  $\theta$ 와 평균 이동속도  $V_t$ 는 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_m}{u_m}\right)$$

$$V_t = \sqrt{u_m^2 + v_m^2}$$

위의 식에서 시간에 대한 적분을 생략하면 공간에 대한 적분만이 남게 되며, 본 조사에서는 공간에 대해서만 적분하도록 하였다. 평균속도는 각각 0.039, 0.022, 0.026 m/s 로 계산되었다.

형광사의 혼합층 두께를  $b$ , 형광사의 공간분포의 중심이동속도를  $V_a$  라고 하면, 단위폭 당의 표사량  $Q$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q = bV_a$$

혼합층 두께  $b$ 에 관하여서는 몇 가지의 이론이 있어 왔다. King(1951)은 영국의 한 해안에서의 조사 결과를 근거로 하여 혼합층 두께를 쇄파 파고의 4 %로 제시하였다. 그 후 Otvos(1965), Williams(1971)은 20-40 %의 높은 비율을 주장하였다. Madsen(1974)은 모래층 내에서 원호 형태의 미끄러짐에 의한 붕괴를 가정하여 11 %를 유도한 바 있으며, Nadaoka et al.(1981)은 유의파고의 8 %로 제안하였다. 본 조사에서는 Nadaoka et al.의 8 % 기준을 채택하기로 한다. 관측된 파랑 자료를 근거로 하여, 혼합층 두께는 세 지점에서 각각 0.14, 0.14, 0.11 m 로 계산되었다. 폭 200 m 에 대하여 26 일간의 각 지점별 표사 이동량을 구하면 각각 681, 384, 356 m<sup>3</sup>이다. 이 중 제 1 지점의 이동량을 연간 이동량으로 환산하면 9,600 m<sup>3</sup> 이다.

포항 지방 해운 항만청(1987)에 의하면 1986 년 6 월과 1987 년 6 월에 실시한 항내 수심측량의 성과로 추정된 죽변항 내의 연간 매물량은 42,400 m<sup>3</sup> 이며, 본 조사 결과는 이 값의 23 %에 불과하다. 이러한 차이는 다음과 같은 원인으로 해석할 수 있을 것이다.

- 형광사의 대표 입경이 현장의 저질에 비해 조립질이었다.
- 두 기간의 파랑의 특성치가 동일하지 않다.
- 항 입구의 퇴적물의 이동량을 직접 관측하지 않았다.
- $b$  값의 추정 오차의 범위가 클 것이다.

#### 參考文獻

포항지방해운항만청. 1988. 죽변항 매물방지대책 조사용역 보고서.

Crickmore, M.J. and Lean, G.H. 1962. The measurement of sand transport by means of radioactive tracers. Proc. Soc. London, Ser. Vol 266, pp. 402-421.

Crickmore, M.J. 1967. Measurement of sand transport in rivers with special reference to tracer methods. Sedimentology, Vol. 8, pp. 175-228.

Komar, P.D. and Inman, D.L. 1970. Longshore sand transport on beaches. *J. Geophysical Res.*, Vol. 75, No. 30, pp. 5914-5927.

Madsen, O.S. 1974. The stability of a sand bed under the action of breaking waves. MIT Report, No. 182.

Nadaoka, K., Tanaka, N. and Katoh, K. 1981. Field observation of local sand movements in the surf zone using fluorescent sand tracer. Report of the Port and Harbor Research Institute, Vol. 20, No. 2, pp. 74-126.

Otvos, E.G. 1965. Sedimentation-erosion cycles of single tidal periods on Long Island Sound Beaches. *J. Sediment. Petrol.*, Vol. 35, No. 3, pp. 604-609.

Russell, R.C.H. 1960. The use of fluorescent tracers for the measurement of littoral drift. Proc. 7th Coastal Engineering Conf., ASCE, pp. 418-444.

Williams, A.T. 1971. An analysis of some factors involved in the depth of disturbance of beach sand by waves. *Marine Geology*, Vol. 11, pp. 145-158.

Zenkovitch, V.P. 1958. emploi des luminophores pour l'étude du mouvement des alluvions sablonneuses. *Bulletin C.O.E.C.*, Vol. 10, No. 6.

제 3지점 황등색 3차

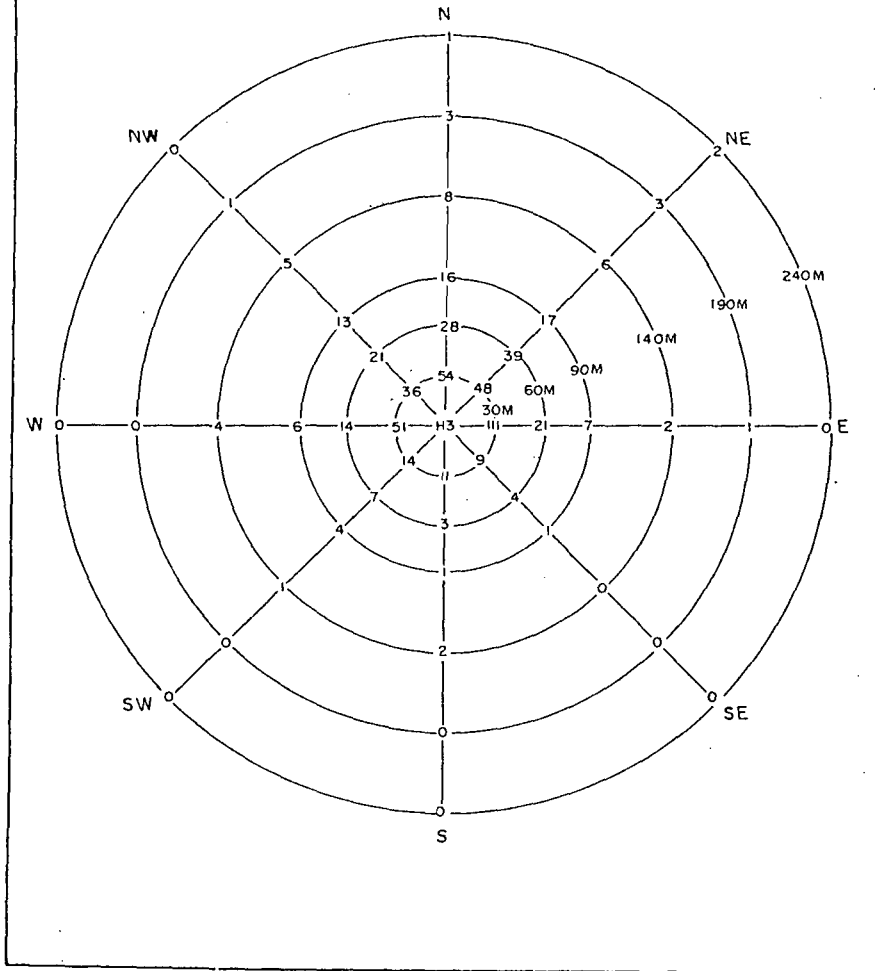


Fig. 1 Measured numbers of fluorescent particles.

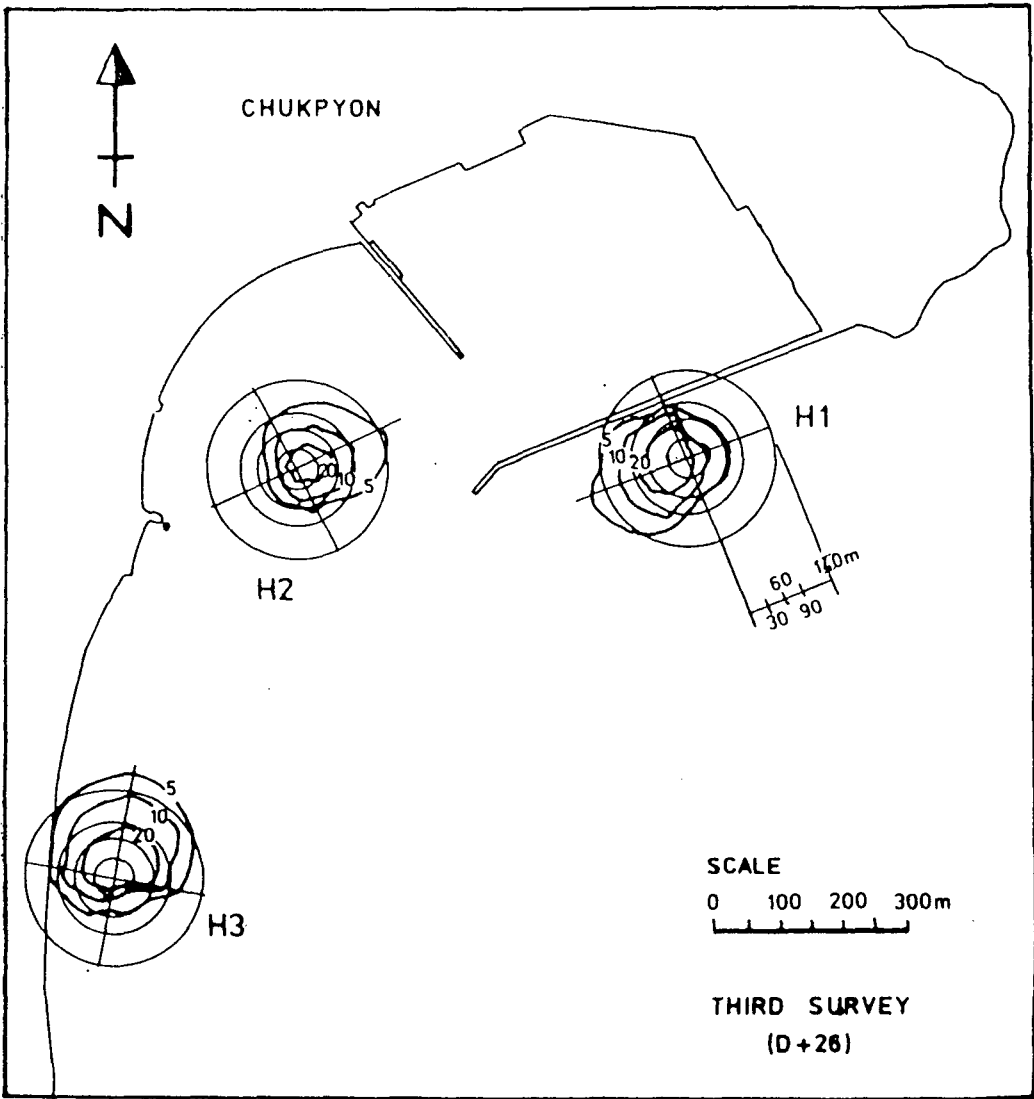


Fig. 2 Results of the fluorescent tracer tests at Chukpyon.