

군산해역 미세-점착성 퇴적물의 침식특성 해석 Analysis on Erosional Properties of Fine-Cohesive Sediments in Kunsan Coast

이현승¹ · 조용준² · 황규남³

Hyun Seung Lee¹, Yong Jun Cho², and Kyu Nam Hwang³

1. 서 론

대부분의 경우에 하구의 미세-점착성 퇴적물은 보통 무기성 광물과 유기물 및 생화학물의 혼합체이며, 광물 입자들은 주로 점토와 실트로 구성되어 있다. 이러한 혼합체의 침식특성은 사질성 퇴적물과는 달리 입자간의 응집현상에 의한 의해 크게 영향을 받으며, 응집강도는 광물질 구성, 입경 분포, 유기물 함량 등으로 묘사되는 퇴적물 자체의 물리·화학적 기본특성에 따라 크게 변화하고 (Mehta, 1986), 특히 저면 퇴적물의 침식 여부는 흐름 전단응력에 의한 저면퇴적물의 저항력 즉, 저면전단강도의 상대적 크기의 차이에 좌우되므로, 그 침식 특성은 저면전단강도 혹은 저면밀도로 묘사되는 저면특성에 따라 크게 변화한다(황규남 등, 2003). 또한 각 해역마다 저면 퇴적물은 퇴적물 공급원, 수동학적 조건, 생태학적 조건 등이 모두 다른 상태에서 형성된 퇴적층이므로, 저면 퇴적물의 기본특성 및 저면특성은 "site-specific" 한 성격을 갖는다.

미세-점착성 퇴적물이 갖는 site-specific한 특성은 한 지역에서 측정된 침식·퇴적특성의 결과를 타 지역에 사용할 수 없다는 것을 의미하며, 퇴적물의 침식·퇴적량 산정식 도출을 위한 이론적·해석적 접근에 큰 장애가 되고 있다. 현재 국내에서는 점착성 퇴적물의 침식특성에 대한 연구는 매우 미미한 상태로, 이에 대한 구체적인 연구가 필수적

으로 요구되고 있다.

본 연구의 궁극적인 목적은 군산해역 미세-점착성 퇴적물의 침식특성을 정량적으로 해석하는 것이며, 또한 그 값의 계절적 변동성을 파악하는 것이다. 본 연구를 통하여 도출된 군산해역 미세-점착성 퇴적물의 침식 특성에 대한 정량적 해석 결과들은 향후에 군산 해역에서의 퇴적물 이송 예측을 위한 수치모형실험시에 입력 자료로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 항로매몰 저감을 위한 대책방안 수립시에 크게 활용될 수 있을 것이다.

2. 표본 시료 채취

군산해역 점착성 퇴적물의 침식특성 조사를 위한 퇴적물 표본 시료는 1개 정점(지점 #1)에서 추계시(2001년 11월)와 동계시(2002년 2월)에 2회에 걸쳐 채취되었다. 한편 앞서 언급된 바와 같이, 점착성 퇴적물의 침식특성은 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성 및 저면 특성과 연관성을 가지므로, 물리·화학적 특성 및 저면 특성 조사를 위한 표본시료 또한 동일지점, 동일일자에 2회에 걸쳐 채취되었다.

저면 특성 조사를 위한 시료들은 피스톤식 core sampler로 채취되었으며, 침식특성 및 기본 특성 조사를 위한 표본시료는 Grab sampler를 이용하여 채취되었다. 또한 현장 해수의 조건을 반영하기 위하여 동일 지점에서 해수가 채취되었으며, 채취된 해

1 전북대학교 토목공학과, 석사졸업

2 서울시립대학교 토목공학과, 부교수

3 전북대학교 토목공학과, 공학연구원, 공업기술연구센터, 조교수

수는 침식실험의 전 과정에서 사용되었다. 퇴적물 표본 채취 지점의 위치는 Fig. 1에 주어진다.

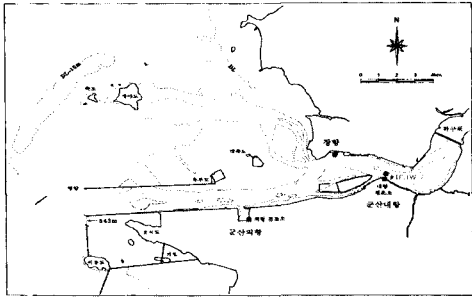


Fig. 1. 군산해역 갯벌 퇴적물 표본채취 위치도.

3. 군산해역 퇴적물의 물리·화학적 특성 및 침식수의 특성

3.1 입경분포

일반적으로 미세-점착성 퇴적물의 입경분포는 피펫방법, 비중계 분석 등을 통하여 결정되는데, 본 연구에서는 비중계 분석법이 사용되었다. 순수 토사 입자만의 입경분포를 얻기 위하여, 본 실험에서는 시료 전처리 과정으로 4%의 NaPO_3 , 염산, 증류수를 사용하여 유기물과 floc 형성을 촉진시키는 전해질 염분이 제거되었다. 또한, 단지 미세-점착성 퇴적물 만의 입경분포를 구하기 위하여, No200체($75\mu\text{m}$)를 기준으로 습식체질된 퇴적물에 대해 비중계 분석이 수행되었다. 본 실험을 통하여 산정된 각 시료에 대한 입경특성 및 입경분포 곡선은 각각 Table 1과 Fig. 2에 주어진다.

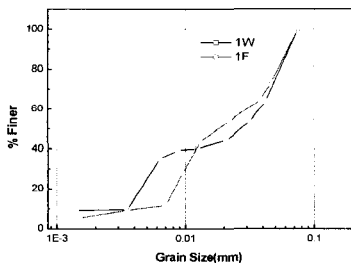


Fig. 2. 계질별 입경분포 변화.

Table 1. 군산해역 미세-점착성 퇴적물의 입경특성

Site	입경(μm)			
	D ₁₆	D ₅₀	D ₈₄	평균
1F	7.6	18.6	58	28.1
1W	4.2	27.4	60.5	30.7

3.2 유기물 함량

본 연구에서 유기물 함량은 해양환경공정시험방법(국립수산진흥원, 1997)에 따른 강열감량법에 의해 조사되었다. 우선 채취된 표본시료들은 동결 건조후에 곱게 분마되었다. 곱게 분마된 시료 중 일정량(약 5g)을 취하여 전기로에 넣고 550°C 에서 약 2시간 동안 가열하였다. 유기물 함량의 퍼센티지는 가열전의 시료무게와 가열후의 시료무게의 차이에 의해서 산정되었으며, 그 결과는 Table 2에 주어진다.

Table 2. 퇴적물의 유기물 함량 비교

Site	유기물 함량(%)
1F	2.85
1W	4.12

3.3 광물질 구성 성분

채취된 표본시료에 대한 광물질 구성성분 분석은 전북대학교 공동 시험소가 보유하고 있는 회절분석기(x-ray diffraction)를 이용하여 수행되었다. 본 연구에서는 광물질 구성성분의 정량적인 분석은 수행되지 않았으며, 정성적인 분석만이 수행되었다. 정성적인 분석결과에 따르면, 전체적으로 두 개의 퇴적물 시료에 대한 광물질 구성성분은 계절별로 변화가 거의 없이 유사한 분포 양상을 보이는 것으로 판정되었다(Table 3참조).

Table 3. 광물질 구성성분 비교

Site : 1F, 1W	
순위	광물질 종류
1	석영(Quartz)
2	미사장석(Albite)
3	일라이트(Illite)
4	고령토(Kaolinite) 녹니석(Chlorite)

3.4 침식수의 특성

미세 점착성 퇴적물에 대한 침식 실험시에 연구 목적에 따라 담수, 염수, 증류수, 수돗물 등 다양한 종류의 침식수들이 사용될 수 있으나, 본 실험에서는 가능한한 현장과 동일 조건하에서 침식실험을 수행하기 위하여 군산해역에서 채취된 해수를 실험 전 과정에 사용하였다. 이 침식수의 염분 농도, pH, 수온 등은 Table 4에 주어진다.

Table 4. 침식실험에 사용된 침식수의 특성

침식수의 특성		
염분(%)	수온(°C)	pH
21.18	4-8.5	8.29

4. 저면특성 조사

본 연구에서는 군산해역 점착성 퇴적물의 저면 특성조사를 위해 하계 및 추계시에 채취된 2개의 표본 core 시료에 대하여, 저면깊이에 따른 저면밀도와 저면전단강도의 변화 및 두 변수간의 상관관계를 해석하였다. 저면밀도는 점착성 퇴적물의 침식을 해석시에 가장 중요한 인자 중의 하나이며, 전단강도는 저면 근처에 존재하는 액상이토층(fluid-mud layer)의 두께 해석시에 필수적인 인자이다(Hwang and Mehta, 1989).

4.1 저면밀도와 저면전단강도의 측정

현장에서 채취된 표본 core 시료들은 드라이 아이스(frozen CO₂)와 변성 알코올로 우선 완전 동결시켰으며, 이를 통하여 저면과 수층의 경계면, 즉 바닥면은 색상의 변화로부터 명확히 인식될 수 있었다. 동결된 core 시료는 약 8cm 간격으로 절단되었고, 절단된 각 균일 크기의 시료에 대해 부피밀도의 측정이 이루어졌다. core 시료의 동결과정은 부피밀도의 팽창을 유발하므로, 부피밀도 산정시에 이에 대한 보정이 이루어졌다. 또한, vane 전단 시험기를 이용한 저면전단강도의 측정이 이루어졌으며 그 결과는 저면밀도의 결과와 더불어 Fig. 3에 주어진다.

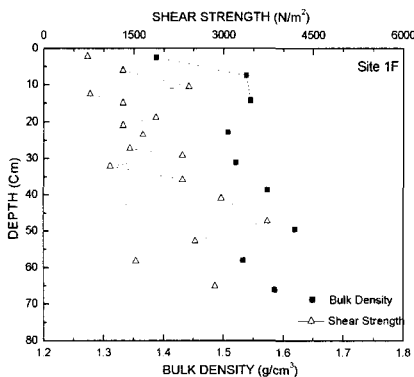


Fig. 3. 저면깊이에 따른 부피밀도와 저면전단강도.

Fig. 3에서 보여지는 바와 같이 저면밀도와 저

면전단강도 모두 저면깊이에 따라 전반적으로 증가는 하나, 절대 비례하지 않는 것으로 보이며, 퇴적물의 구성성분 등에 의해 또한 영향을 받는 것으로 추정된다.

5. 침식실험

침식에 대한 최초의 연구들은 자연상태의 실트-점토의 저면 위로 일정한 염도를 갖는 해수를 부유사와 함께 순환펌프로 재 순환시키면서 주로 직선수조에서 수행되었다(Thorn and Parsons, 1980; 김재중, 1989; 김차겸·이종섭, 1992). 그러나, 미세-점착성 퇴적물의 제반 이동특성이 입자간의 응집현상에 의해 크게 지배된다는 점을 고려할 때, Fig. 4의 모식도에서 보여지는 바와 같이 응집된 부유토사들이 재순환 펌프의 날개에 의해 쉽게 분리될 수 있는 직선수조의 사용은 그 타당성이 의문시되고 있으며, 이러한 직선수조의 단점을 보완하기 위하여 고안된 환형수조의 사용이 실험방법 및 결과의 타당성 등의 측면에서 가장 선호되는 실험장치로 알려지고 있다(Maa, 1989; Krishna-ppan, 1993; 황규남·소상돈, 2002).

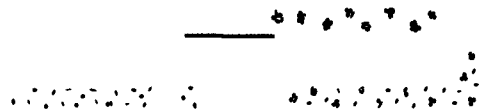


Fig. 4. 직선수조의 개략도.

본 연구에서는 군산해역 미세-점착성 퇴적물에 대한 침식실험을 위하여 전북대 환형수조가 사용되었다(Photo. 1). 전북대 환형수조의 특성과 주요 제원은 소상돈(2003)에 의해 주어진다.

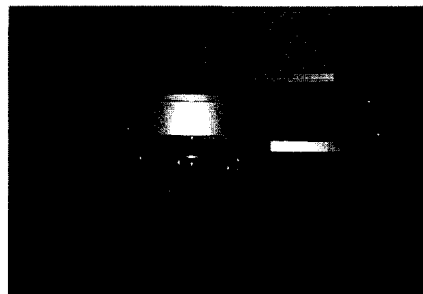


Photo. 1. 전북대 환형수조.

일반적으로 침식실험시에 조성되는 저면의 종류로는 균일저면과 퇴적저면으로 분류되는데, 본 연구에서는 균일저면이 사용되었다. 균일저면의 형성 여부는 특수 제작된 저면밀도 측정 장치를 이용하여 확인되었다. 이장치를 이용한 자세한 저면밀도 측정방법과 침식실험방법은 이현승(2003)에 의해 주어진다. 한편, 본 연구의 목적은 미세 입자들의 침식특성 조사이므로, 근산해역에서 채취된 퇴적물 표본시료는 No.200체로 우선 습식체질 되었으며, 이로부터 얻어진 입경 75 μ m이하의 미세 퇴적물만을 사용하여 저면이 형성되었다.

6. 결과의 해석

6.1 시간에 따른 부유사 농도의 변화

Fig. 5는 저면밀도 $\rho_B = 1.34\text{g/cm}^3$ 일 때 시간에 따른 수조내 부유사 농도 분포 변화이다. 균일저면의 경우에, 침식이 진행되는 동안 부유사 농도는 시간에 따라 선형적으로 증가하는데, Fig. 5는 이러한 현상을 잘 보여주고 있다. 균일저면에 대한 침식률은 일반적으로 다음과 같이 표현된다 (Ariathurai et al., 1978).

$$\epsilon = \frac{dm}{dt} = \epsilon_{M,s} \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce,s}} - 1 \right) \quad (1)$$

여기서 $\epsilon_{M,s}$ 는 침식률 계수이며, τ_b 는 바닥전단 응력이다. $\tau_b = 2\tau_{ce,s}$ 일때 침식률 ϵ 과 동일한 값을 갖는다.

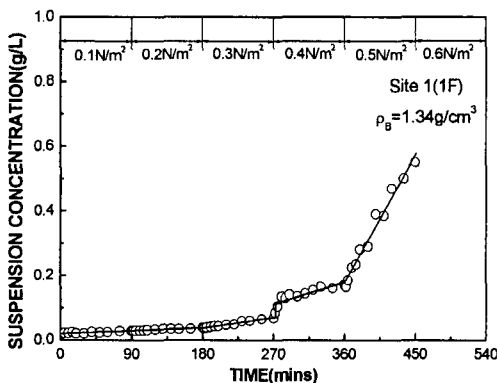


Fig. 5. 시간에 따른 부유사 농도 변화.

한편, 각각의 주어진 저면전단응력에 대한 침식률은 단위 면적 당 침식된 유사질량의 시간변화율을 전체 깊이(수심)에서의 부유사 농도의 시간변

화율로 변환시킴으로써 얻을 수 있다. 이러한 변환은 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon = \frac{dm}{dt} = h \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2)$$

여기서 ϵ 은 침식률이고, m 은 단위 저면 표면적 당 침식된 유사량, 그리고 h 는 수심을 나타낸다.

6.2 한계침식전단응력 $\tau_{ce,s}$ 및 침식률 계수 $\epsilon_{M,s}$ 의 산정

식 1과 2 그리고, Fig. 5를 이용하여 저면전단응력과 침식률간의 관계 곡선이 도출되었으며, 그 결과는 Fig. 6에 주어진다. M_1 경사선은 작은 전단응력에서의 fluff 침식률을 나타내고, M_2 는 상대적으로 큰 전단응력에서의 표면침식률을 나타낸다. 그러나 fluff 침식은 침식된 유사의 실제 질량이 크지 않고, 본 연구의 목적은 표면침식특성의 조사이므로 더 이상의 고려는 무시된다.

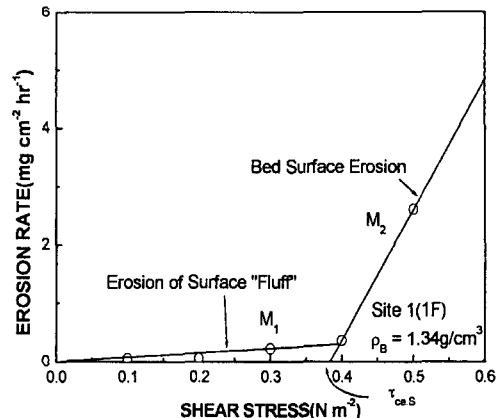


Fig. 6. 저면전단응력과 침식률의 관계.

표면침식(surface erosion) 단계에서 침식한계전단강도 ($\tau_{ce,s}$)는 M_2 선을 횡좌표 쪽으로 연장하여 얻어지며, 침식률 계수 ($\epsilon_{M,s}$)는 M_2 와 $\tau_{ce,s}$ 를 곱하여 얻어진다. Fig. 6을 통하여 보면 $\tau_{ce,s}$ 와 $\epsilon_{M,s}$ 의 각각의 값은 0.38N/m^2 과 $22.39\text{mg/cm}^2\text{hr}$ 임을 알 수 있다.

현재, 이러한 결과로부터 저면밀도에 따른 $\tau_{ce,s}$ 와 $\epsilon_{M,s}$ 의 변화의 분석과 1개 정점에 대한 계절적 변화의 분석이 이루어 졌으며, 학술발표회에서 그 결과가 제시되어질 것이다.

7. 결 언

본 연구에서는 군산해역의 군산 해역 퇴적물의 침식특성을 정량적으로 산정하고, 그 값의 국소 지역에서의 공간적·계절적 변화를 파악하기 위해 총 4개 지점에 대해 실험이 계획되었다. 현재, 군산해역에서의 1개 지점의 가을(1F)와 겨울(1W)시료에 대해 각각 4회씩 총 8회의 침식실험을 통해, 침식특성의 정량적인 산정과 계절적인 분석이 이루어진 상태이며, 기타 지점에 대한 분석은 아직 수행중에 있다. 한편, 본 논문에서는 1개 저면밀도에 대한 실험결과만이 제시되었는데 학술발표회에서는 현재 수행된 1개 지점에 대해 침식 매개변수인 한계침식전단응력과, 침식률 계수의 정량적인 값이 제시되어질 것이며, 또한 계절적 변화도 제시될 것이다. 그러나, 군산해역 일대에 걸친 퇴적물의 침식특성의 더 정확한 조사를 위해서는 다양한 지점에서의 공간적·계절적 변화에 대한 실험이 수행되어져야만 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R05-2001-000-01343-0)지원으로 수행되었음.

참고문헌

- 이정렬·이동영·황인태 (2000). A prediction of cohesive sediment transport in Young-Kwang area, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 905-910.
- 황규남 (2000). 새만금 갯벌퇴적물의 침강속도 산정을 위한 실험적 연구, 대한토목학회 논문집, Vol. 20, No. 2-B, pp. 277-286.
- 황규남·소상돈(2002). 환형수조를 이용한 미세-점착성 퇴적물의 침식특성 조사. 한국수자원학회 학술발표회논문집(II), pp. 1075-1080.
- 소상돈(2003). 고�령토 점착성 퇴적물의 침식특성 조사. 전북대학교 석사학위논문.
- 천민철(2003). 군산해역 점착성 퇴적물의 침강특성에 관한 연구. 전북대학교 석사학위논문.
- 이현승(2003). 군산해역 점착성 퇴적물의 침식특성에 관한 연구, 전북대학교 석사학위논문.
- Ariathurai, R. and Arulanandan, K. (1978). Erosion rates of cohesive soils, J. Hyd. Div., ASCE. 104, HY2, pp. 279-283.

- Ariathurai, R. and Krone, R. B. (1976). Finite element model for cohesive sediment transport. J. Hyd. Div. ASCE, 102, HY, pp. 323-338.
- Hwang, K.-N. and Mehta, A.J. (1989). Fine-sediment erodibility in Lake Okechobee Florida, UFL/COEL -89/019, Coastal and Oceanographic Engineering Dept., UF, Gainesville, Florida.
- Krishnappan, B.G. (1993). Rotating circular flume, J. Hyd. Engineering, ASCE 119(6), pp. 758-767.
- Kuijper, C., Cornelisse, M., and Winterwerp, J.C.(1989). Research on erosive properties of cohesive sediments. J. Geophys. Res. 94, pp. 14341-14350.
- Maa, J.P.Y. (1989). The bed shear stress of annular sea-bed flume. Proc. Water Quality Management. Hamburg, Germany, pp. 271-276.
- Maa, J.P.Y. (1993). VIMS Sea Carousel: its hydrodynamic characteristics. In: Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport, A.J. Mehta (ed.), American Geophysical Union, Washington, pp. 265-280.
- Maa, J.P.Y., Lee, C.-H. and Chen, F.J. (1995). Bed shear stress measurement for vims Sea Carousel. Mar. Geol., 129, pp.129-136.
- Mehta, A, J. (1993). Cohesive Sediments in Coastal Engineering Applications Coastal, Estuarial and Harbour Engineer's Reference Book, pp. 597-610.