

# 군산해역 미세-점착성 퇴적물 침강속도의 지역적 변화 해석

Analysis on Local Variation of Settling Velocity of Fine-Cohesive Sediments in Kunsan Coast

○황규남<sup>1)</sup> · 천민철<sup>2)</sup>

Hwang, Kyu-Nam · Cheon, Mincheol

## 1. 서론

주로 하구역에 널리 분포되어 있는 미세-점착성 퇴적물과 관련하여 발생하는 문제점들은 크게 두 종류로 분류될 수 있다. 그 첫째는 저면 퇴적물이 침식(erosion)되고, 이송(transport)되어, 퇴적(deposition)하는 과정에서 발생하는 제반 퇴적물 이동역학과 관련된 문제들로, 과다 침식 혹은 과다 퇴적으로 인하여 발생하는 해안침식 및 항로매몰 현상 등이 그 대표적인 예라 할 수 있다. 두 번째 부류에 속하는 문제들은 수질(water quality)과 저면 경계층(benthic boundary)과 관련된 문제들이다. 예를 들어, 높은 탁도는 태양 빛의 투과능을 저하시키고, 결과적으로 수층 내 생태계에 큰 영향을 미쳐 생물학적 생산성을 저하시킬 수 있다. 더욱이, 미세-점착성 퇴적물은 부유 혹은 용해상태의 여러 가지의 독성을 가진 오염물질과 쉽게 결합하는 경향이 있어, 하구에서의 수질 오염의 주 요인이 된다. 한편, 이러한 오염과 관련된 문제들에서도 퇴적물 자체의 이동특성에 대한 해석 및 예측이 또한 기본적으로 요구된다.

과다 퇴적으로 인하여 항로매몰 현상이 발생하는 대표적인 해역은 금강하구에 위치한 군산해역이다. 지난 10년간 다수의 대규모 공사가 수행되고 있는 군산해역에서는 평균적으로 해역 전체에 걸쳐 매년 약 35-40cm의 퇴적이 발생하였으며(군산지방해양수산청, 1999), 그 퇴적률은 매년 증가하고 있는 상태이다. 이러한 퇴적으로 인한 항로매몰 문제는 비단 군산해역 만의 문제가 아니라, 낙동강과 섬진강을 포함하여, 영국의 Severn 하구, 미국의 미시시피강 하구 등 국내외의 많은 하구에서 발생하는 고질적인 문제이다.

대부분의 경우에 하구의 미세-점착성 퇴적물은 보통 무기성 광물(inorganic mineral), 유기물(organic material) 및 생화학물(biochemicals)의 혼합체이며, 광물 입자들은 주로 점토와 실트로 구성되어 있다. 이러한 혼합체의 퇴적 혹은 침강특성은 입자간의 응집 현상에 의해 크게 영향을 받으며, 그 응집강도는 또한 광물질 구성, 양이온 전도율, 입경분포, 유기물 함량 등으로 묘사되는 물리·화학적 기본특성에 따라 크게 변화한다(Mehta, 1986). 따라서 부유 입자에 부여되는 수동학적 조건이 동일하다 하더라도, 퇴적물 자체의 특성에 따라 그 퇴적 혹은 침강특성은 달라지게 되며, 이러한 "site-specific"한 특성으로 인하여 미세점착성 퇴적물의 침강속도에 대한 이론적 해는 현재 없으며 현장이나 실험실 실험을 통하여 측정하는 것이 최선이다.

현재 군산해역 미세-점착성 퇴적물의 침강특성 조사를 위한 일련의 실험들이 전북대학교 해안·항만실험실에서 수행되고 있다. 본 연구의 1차적 목적은 군산해역 미세-점착성 퇴적물의 침강속도를 정량적으로 산출하여, 향후 군산해역에서의 퇴적물 이동 예측을 위한 수치모형실험시에 입력자료로 활용하는 것이며, 2차적으로는 군산해역 내에서의 침강특성의 지역적(local) 변화와 계절

1) 정희원, 전북대학교 토목환경공학부 · 공학연구원 공업기술연구센터 조교수

2) 학생회원, 전북대학교 공과대학 토목환경공학부 석사과정



위한 3가지 실험이 수행되었으며, 양이온 전도율에 대한 실험은 생략되었다. 각 실험에 대한 개략적인 설명 및 실험조건은 아래에 주어진다.

표 1. 표본채취 지역의 경위도, 수온, 염도 및 수심

Site No.	일 자	N	E	수온 (°C)	염도 (‰)	수심 (m)	비 고
1F	2001.11.20(Fall)	35° 59' 30"	126° 42' 42"	9	18.8	2.5	
2S	2001.8.12(Summer)	36° 00' 06"	126° 40' 06"	26.5	9.8	3.0	소조기
2F	2001.11.20(Fall)	36° 00' 19"	126° 40' 48"	11	21.2	5.0	
3F	2001.11.20(Fall)	35° 58' 49"	126° 36' 24"	11	21.4	4.0	
4F	2001.11.20(Fall)	35° 58' 56"	126° 33' 17"	11	23.3	1.2	
2W	2002.2.8(Winter)	35° 58' 56"	126° 33' 17"	4.5	28.5	5.0	

### 3.1 입경분포

입경분포 실험은 ASTM(American Society for Testing and Materials, 1987)이 제시한 방법에 따라 체 분석과 비중계 실험(Hydrometer test)을 병행하여 수행되었다. 비중계 실험시 시료의 전처리 과정으로 폐각류, 유기물질 및 염분을 제거하였다. 따라서 본 연구에서 입경분포 실험은 순수 토사만으로 구성된 시료에 대해 수행되었다. 총 4개 지점의 시료에 대한 입경분포 분석결과는 그림 2에 주어진다.

그림에 따르면 군산해역 퇴적물의 입경은 0.001~0.4mm의 범위에 분포하며, 평균입경은 지점별로 0.018mm에서 0.052mm까지 변화한다. 또한 모래의 함량은 지점별로 약 16%에서 43%까지 변화하며, 점토의 함량은 15% 내외이다.

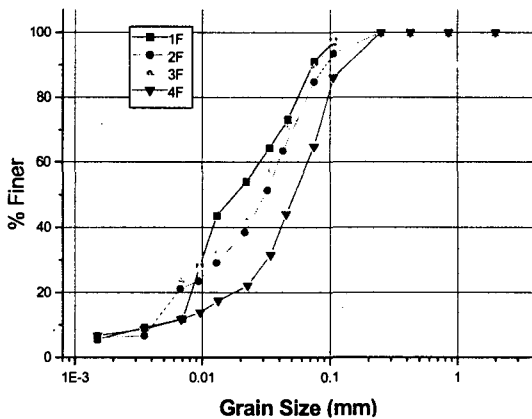


그림 2. 군산해역 퇴적물의 입경분포 변화

### 3.2 유기물 함량

유기물 함량 실험은 해양환경공정시험방법(국립수산진흥원, 1997)에 따라 강열감량법으로 수행되었다. 지점별 유기물 함량 실험 결과는 표 2에 주어진다. 표로부터 군산해역 점착성 퇴적물의 유기물 함량은 지점별로 1.93%에서 최대 2.85%까지 변화함을 알 수 있다. 유기물 함량의 지점별 변화는 그다지 크지 않은 것으로 보이며, 평균적으로 유기물 함량은 2.4%로 새만금 퇴적물의 유기물 함량(황 등, 2000)과 거의 동일한 값을 가진다.

표 2. 지점별 유기물 함량

Site No.	유기물 함량(%)
1F	2.85
2F	2.66
3F	2.24
4F	1.93
평균	2.42

### 3.3 광물질 구성

점착성 깃별 퇴적물은 광물질의 구성 함량이 서로 다른 혼합체이고, 광물질 구성 성분은 부유사 입자의 응집에 큰 영향을 미치므로 그 구성 특성에 따라 침강속도의 크기가 좌우된다(van Leussen, 1988). 본 연구에서는 X-ray 회절분석기를 이용하여 채취된 표본시료의 점토와 비점토의 지배적인 구성 성분 및 광물질의 구성 성분별 함량을 정성적으로 파악하고자 하였다. 광물질 구성 분석은 전북대학교 공동시험소가 보유하고 있는 RIGAKU사의 D/MAX-2500 회절분석기를 이용하여 수행되었다.

대표적인 회절 분석 결과로써 지점 1F 퇴적물 시료에 대한 X-ray diffractogram과 광물질 구성의 정성적 분석결과는 그림 3과 표 3에 각각 주어진다. 자원연구소 전문연구원의 지원 하에 수행된 정성적 분석결과에 따르면, 4개 지점 퇴적물의 광물질 구성 성분은 거의 동일한 것으로 나타났다.

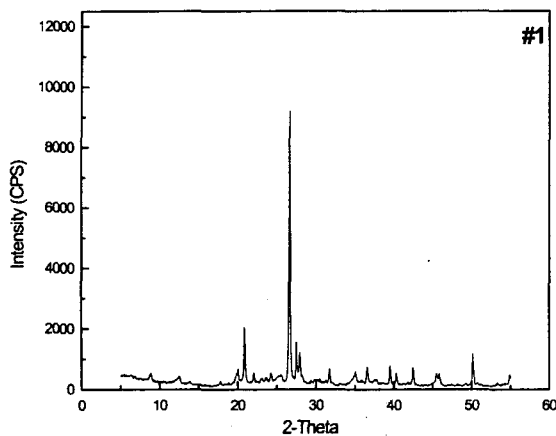


표 3. 군산해역 점착성 퇴적물의 광물질 구성

순위	광물질 종류
1	석영(Quartz)
2	미사장석(Albite)
3	일라이트(Illite)
4	고령토(Kaolinite) 녹니석(Chlorite)
참조 : 전 4개 지점에 대해 동일한 분포 양상을 가짐.	

그림 3. 지점 1F 퇴적물의 x-ray diffractogram

### 4. 농도에 따른 침강속도의 변화

점착성퇴적물의 침강특성은 부유사 농도( $C$ )에 의해 가장 큰 영향을 받으므로, 침강 속도( $W_s$ )는 부유사 농도에 따라 자유침강(free settling), 응집침강(flocculated settling), 및 간섭침강(hindered settling)으로 분류되는 것이 일반적이다. 침강속도와 부유사 농도간의 전형적인 관계는 이에 대응하는 침강플럭스( $F_s = W_s C$ )의 변화도와 함께 그림 4에 주어진다.

자유침강은 그림 4에 도식된 바와 같이 부유사 농도  $C$ 가  $C_1$ 보다 작은 영역에서 발생한다. 이 영역에서 개개의 토사 입자 혹은 토사입자들의 응집상태인 플록(floc)들은 입자들간의 상호 충돌 등에 의한 간섭과 방해 없이 독립적으로 침강하며, 침강 속도는 부유사 농도와 무관하게 되고 사질성(비점착성) 퇴적물의 경우와 같이 입자의 입경, 형상 등에 의해 크게 좌우된다. 구형 입자의 침강속도는 레이놀즈수가  $Re < 0.1$ 인 경우에 Stokes공식에 의해 산정될 수 있다.

응집침강 영역으로 분류되는 부유사 농도  $C_1$ 과  $C_2$  사이에서는 부유사 농도의 증가와 더불어 입자 상호간의 충돌율이 증가하게 되어, 결과적으로 입자간의 응집율이 향상된다. 따라서, 이 영역

에서는 농도가 증가함에 따라 결속력이 더 강하고, 밀도가 더 크며, 크기가 더 커진 플록들이 형성되어, 침강속도는 증가하게 된다.

이 영역에서의 침강속도에 대한 전형적인 표현식은 다음 식 (1)과 같이 주어진다.

$$W_s = k_1 C^\alpha \quad (1)$$

여기서  $\alpha$ 는 그림 4에 주어진 침강속도 곡선의 기울기를 나타내며, 이론적으로 4/3이나, 실제 값은 일반적으로 0.8과 2 사이의 값을 갖는다(Krone, 1962; Mehta, 1988). 비례상수  $k_1$ 은 퇴적물의 구성성분과 흐름조건에 따라 크게 변화할 수 있다.

고농도의 간섭침강영역( $C > C_2$ )에서는 플록들이 격자망을 형성하여 공극수의 상승이동을 방해하게 된다. 결과적으로 이 영역에서는 부유사 농도가 증가할수록 침강속도는 감소한다(Kynch, 1952). 이 영역에서의 침강속도는 다음 식 (2)와 같이 주어진다.

$$W_s = W_{so} [1 - k_2 (C - C_2)]^\beta \quad (2)$$

여기서  $W_{so}$ 는 최대침강속도이며,  $C_2$ 는 침강속도가 최대일 때의 부유사 농도를 나타낸다. 또한 비례상수  $k_2$ 는  $W_s = 0$ 일 때의  $C_2$ 에 대한 상대 부유사 농도의 역수를 의미하며,  $\beta$ 는 이론적으로 5의 값을 갖는다(Hwang and Mehta, 1989).

## 5. 침강특성 실험

군산해역에서 표본 채취된 지점별 점착성퇴적물에 대하여, 앞서 식(1)과 (2)에 주어진 용집침강과 간섭침강영역에서의 침강속도 곡선식을 정량적으로 결정하기 위한 침강실험이 수행되었다. 침강실험은 특수 제작된 침강수주(settling column)를 이용하여 multi-depth 부유사 농도 채취방법으로 수행되었으며, 각 부유사 농도에서의 침강속도는 침강수주에서의 시간과 높이에 따른 농도변화 측정값들에 Ross(1988)가 개발한 침강속도 산정 수치프로그램을 적용하여 결정되었다. 침강수주의 단면도, 침강실험 과정 및 Ross(1988)의 수치모형을 이용한 침강속도 산정 방법 등에 대한 자세한 사항은 황(2000)에 주어진다. 침강실험 결과의 분석은 아직 진행 중에 있으며, 학술발표회에서는 침강속도 곡선식의 지점별 산정결과와 그 특성의 지역적 변화에 대한 해석결과가 제시될 수 있을 것이다.

## 6.결언

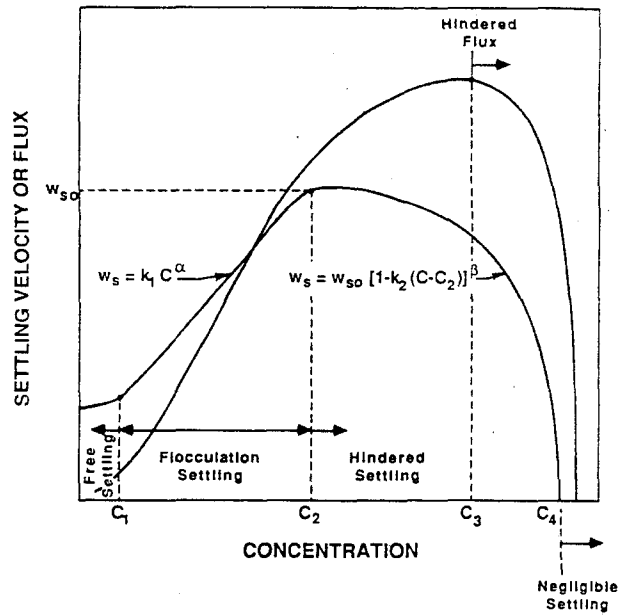


그림 4. 점착성퇴적물의 농도에 따른 침강속도 변화 모식도

본 연구의 목적은 군산 해역 갯벌 퇴적물의 침강속도를 정량적으로 산정하고 그 값의 지역적 변화를 파악하는 것이다. 점착성 퇴적물의 침강특성은 입자간의 응집과 밀접한 관계가 있고, 응집강도는 퇴적물의 물리·화학적 기본특성에 따라 크게 좌우되므로, 본 연구에서는 이들 특성들에 대한 분석도 수행하고자 하였다. 그리고 종합적으로 두 요소를 연계하여 그 상관관계를 규명하고자 하였다. 현재, 추계시 4개 지점에서 채취한 시료에 대해 물리·화학적 기본특성에 대한 분석은 완료된 상태이나, 침강실험은 아직 수행 중에 있으며, 학술발표회에서는 종합적인 분석결과를 제시할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호; 2001-2-31100-002-3)지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

1. 군산지방해운항만청 (1999). 금강하구 수리현상 변화조사 보고서.
2. 국립수산진흥원 (1997). 해양환경공정시험방법, 연구보고서, 한국해양학회.
3. 황규남 (2000). 새만금 갯벌퇴적물의 침강속도 산정을 위한 실험적 연구, 대한토목학회 논문집 Vol. 20, No. 2-B, pp. 277-286.
4. 황규남, 이재연, 이재형 (2000). 새만금 갯벌 퇴적물 침강특성의 공간적 변화, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 767-770.
5. Mehta, A.J. (1988). Cohesive sediments in estuarine environment, Invited Contribution to AGU Chapman Conference, Bahia Blanca, Argentina.
6. Mehta, A.J. (1986). Characterization of cohesive sediment properties and transport processes in estuaries, Estuarine Cohesive Sediment Dynamics, A.J. Mehta ed., Springer-Verlag, Berlin, pp. 290-325.
7. American Society for Testing and Materials (1987). Annual Book of A.S.T.M. Standards, Vol. 4, No. 8, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
8. van Leussen, W. (1988). Aggregation of particles, settling velocity of mud flocs - a review, Physical Processes in Estuaries, J. Dronkers and W. van Leussen, eds., Springer-Verlag, Berlin, pp. 347-403.
9. Ross, M.A. (1988). Cohesive sediments in estuarine environment, Ph.D. Dissertation, Univ. of Florida, Gainesville, FL.
10. Krone, R.B. (1962). Flume studies of the transport of sediment in estuarial shoaling process, Final Report, Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, UC, Berkeley, California.
11. Kynch, G.J. (1952). A theory of sedimentation, Transactions of the Faraday Society, Vol. 48, pp. 166-176.
12. Hwang, K.-N. and Mehta, A.J. (1989). Fine-sediment erodibility in Lake Okeechobee Florida, UFL/COEL-89/019, Coastal and Oceanographic Engineering Dept., UF, Gainesville, Florida.