

점착성 퇴적물의 침강속도에 미치는 염도의 영향

Effect of Salinity on Settling Velocities of Cohesive Sediments

황병호*, 홍성우**, 황규남***

Byoung-Ho Hwang, Sung Woo Hong, Kyu-Nam Hwang

요 지

유체의 특성을 나타내는 인자 중에 침강속도에 큰 영향을 미치는 인자 중 하나는 염도(salinity)이다. 염도는 부유사 입자의 응집을 촉진시키고, 입자의 응집은 더욱 큰 침강속도를 초래하는 것으로 알려지고 있다. 본 연구에서는 유체의 염도가 침강특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 서로 다른 염도조건(담수와 염수)에서 고령토 퇴적물에 대한 침강실험을 수행하고, 그 결과를 비교·분석하여 염도가 침강특성에 미치는 영향을 정성적·정량적으로 해석하였다.

핵심용어 : 점착성 퇴적물, 침강속도, 염도

.....

1. 서 론

점착성 퇴적물은 대부분 하구역의 하상과 수층에 널리 분포되어 있으며, 이러한 점착성 퇴적물의 침강특성은 토사입경 크기에 의해 크게 영향을 받는 사질성 퇴적물과는 달리 입자간의 응집(aggregation) 현상에 의해 크게 영향을 받는다. 입자간의 응집을 지배하는 주요 인자 중의 하나는 개개의 입자가 갖는 고유의 크기의 응집력으로, 이러한 응집력은 퇴적물 자체의 물리·화학적 기본특성(입경분포, 유기물함량, 광물질 구성 등) 및 유체의 특성(수온, 염도, pH 등)에 의해 변화한다(Mehta, 1986).

유체의 특성을 나타내는 인자 중에 침강속도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 염도(salinity)이다. 염도는 부유사 입자의 응집을 촉진시키고, 입자의 응집은 더욱 큰 침강속도를 초래한다. 염도에 의한 퇴적물의 응집과 응집된 퇴적물(flocs)의 침강속도에 미치는 영향에 대해서는 그 동안 많은 연구가 수행되어져 왔으며, 그 결과들은 응집된 퇴적물의 침강속도가 분산된 입자의 침강속도보다 크다는 것을 보여준다. 또한, 퇴적물을 구성하는 광물질 성분에 따라 달라지나, 일반적으로 대부분 점착성 퇴적물의 침강속도는 염도의 유무, 즉 염수를 사용할 때와 담수를 사용할 때의 두 경우에 있어서 상당한 차이를 보인다.

이에 본 연구에서는 상용화되어 구입이 용이한 고령토를 이용하여 염도의 유무에 따른 침강 실험이 수행되며, 침강수(settling fluid)로는 우선적으로 수돗물을 사용하고, 염도의 영향을 고려하기 위해 일정 염도를 갖는 침강수를 제작하여 실험이 수행되었다. 또한, 고령토의 성분적 특성의 조사 및 실내실험을 통하여 침강속도의 정량적인 분석과, 서로 다른 조건(담수와 염수)에서의 결과를 비교, 분석하여 염도가 침강특성에 미치는 영향을 정량적으로 해석하였다.

* 정회원·전북대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : knight_kien@chonbuk.ac.kr

** 비회원·대우건설 차장·E-mail : sw1601@hanmail.net

*** 정회원·전북대학교 토목공학과공학연구원 공업기술연구센터, 부교수·공학박사·E-mail : Khwang@chonbuk.ac.kr

2. 물리·화학적 특성

앞서 설명된 바와 같이 점착성 퇴적물의 침강특성은 입경분포, 광물질 구성성분, 유기물 함량 등으로 묘사되는 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성과 염도, 수온, pH등과 같은 침강수의 특성에 따라 크게 변화하므로(Mehta 1986), 이러한 항목들에 대한 조사 및 분석은 침강특성 조사 시에 필수적인 사항이다. 따라서 본 연구에서는 침강실험에 사용된 고령토에 대한 물리·화학적 특성 조사를 위해 성분적 특성 및 입경분포에 대한 2가지 실험이 수행되었으며, 그 결과는 그림 1 및 표 1과 표 2에 주어진다. 표와 그림으로부터 고령토 퇴적물의 입경은 1~430 μm 의 범위에 분포하며, 중앙입경(D50)과 평균입경은 각각 4 μm 과 12.5 μm 임을 알 수 있다.

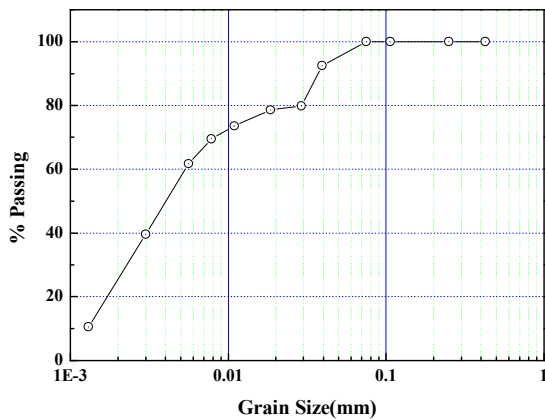


그림 1. 고령토 퇴적물의 입경 분포

표 1. 고령토 퇴적물의 성분적 특성
(한국화학시험연구원)

시험항목	단위	결과치	시험방법
백 색 도	-	93.9	KSL 5113-97
SiO ₂	%	71.5	KSE 3805-96
Al ₂ O ₃	%	18.0	
Ig. loss(유기물함량)	%	5.70	KSF 3805-96 (I. C. P)
Fe ₂ O ₃	%	0.20	
CaO	%	2.40	
MgO	%	0.05	
pH(20% 수용액)	-	8.50	KSF 2103-93
겉보기 비중	-	0.58	KSA 0602-95
입도(No. 325체 잔류 분)	%	0	KSA 5301-95
수 분	%	0.26	

표 2. 고령토 퇴적물의 입경 특성

	D ₁₆	D ₅₀	D ₈₄	평균
입 경(μm)	1.5	4.0	32.0	12.5

3. 침강수의 특성

고령토 퇴적물을 이용한 침강실험 시, 침강수는 우선적으로 수돗물이 사용되었으며, 자연 해수와 동일한 염도를 갖도록 하기 위하여 수돗물과 순도 98%의 상업용 정제소금을 혼합한 32%의 염도를 갖는 침강수를 제작하여 염수조건하의 침강실험이 수행되었다. 본 연구에서 사용된 수돗물의 화학적 성분은 과거 한국수자원공사의 충청권 수질 검사소에 의해 분석된 바 있다. 분석 결과에 의하면 본 침강실험에 사용된 수돗물의 pH는 7.0이며, 각 화학성분들의 함유량은 표 3에 주어진다.

표 3. 수돗물 화학성분(한국수자원공사)

화학성분	함유량(ppm)
Cl ⁻	11.000
NO ₃ -N	0.700
SO ₄ ⁻²	3.000
Zn	0.006
THMs	0.026
Chloroform	0.020

4. 침강실험

침강 실험은 자체 제작한 높이 1.8m의 침강수주(settling column)를 이용하여 수행되었다. 수주의 본체는 직경 17cm의 plexiglass로 제작되었으며, 직경이 5mm, 길이가 10cm인 tap hose가 각기 다른 10개의 높이에서 측면에 부착되었다. 침강수주의 모습 및 단면도는 그림 2와 그림 3에 주어진다. 침강속도 실험 수행 후, 중량분석을 통하여 침강수주의 각기 다른 높이에서 일정간격의 시간에서 채취된 탁수들의 부유사 농도가 측정되었고 각 실험별로 농도 단면도가 작성되었다. 각각의 높이와 시간에 측정된 모든 부유사 농도 값들은 Ross(1988)가 개발한 수치모형에 입력값으로 사용되었으며, 부유사의 각 농도별로 침강속도 값들이 산정되었다. 침강실험 과정 및 Ross(1988)의 수치모형에 의한 침강속도 산정방법에 대한 자세한 사항은 황규남(2000)에 주어진다. 또한, 침강실험은 고령토 퇴적물 시료를 사용하여 총 11회(담수 5회, 염수 6회) 수행되었으며, 각 실험에서의 실험조건들은 표 4에 주어진다.

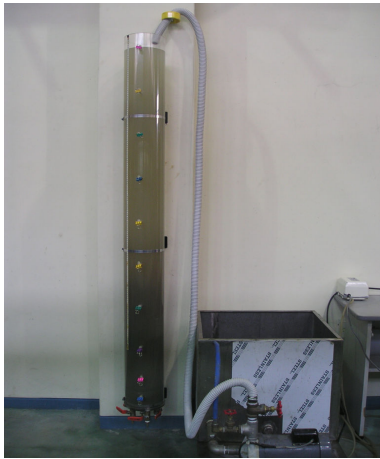


그림 2. 실험에 사용되고 있는 높이 1.8m의 침강수주

그림 3. 침강수주 설계단면도

표 4. 각 실험별 침강실험 조건

침강수 조건	Test No.	Temp. of Suspension(°C)	Variation of Suspension Height(cm)	C_0 (g/L)
담수	1	11.0 ~ 12.0	176.5 ~ 166.5	1.70
	2	16.0 ~ 17.0	176.2 ~ 166.2	3.25
	3	12.0 ~ 12.0	175.8 ~ 165.8	7.14
	4	13.0 ~ 14.0	174.9 ~ 163.8	16.38
	5	13.0 ~ 13.0	175.2 ~ 166.5	28.45
염수 (32%)	1	11.0 ~ 12.0	176.7 ~ 165.4	0.70
	2	12.0 ~ 13.0	175.3 ~ 163.7	2.30
	3	14.0 ~ 14.0	175.7 ~ 166.3	6.16
	4	13.0 ~ 13.0	176.6 ~ 166.7	7.44
	5	13.0 ~ 13.0	178.2 ~ 167.5	15.14
	6	13.0 ~ 14.0	176.7 ~ 166.2	26.64

5. 침강실험 결과

중량분석을 통하여 각기 다른 높이와 시간에서 채취한 탁수들의 부유사 농도가 측정되었고, 총 11회(수돗물 5회, 염수 6회)의 침강실험이 수행되었다. 수돗물 조건에서의 대표적인 농도단면도는 그림 4($C_o=16.38\text{g/L}$)에 주어지며, 염수(32%)조건에서의 농도단면도는 그림 5($C_o=15.14\text{g/L}$)에 주어진다.

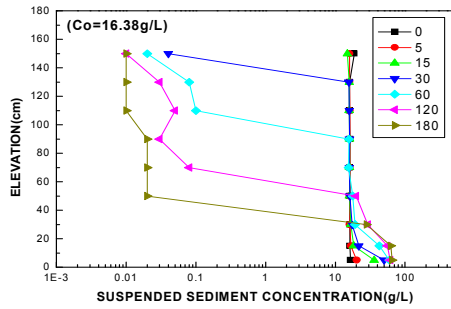


그림 4. 담수 시 고령토
농도단면도 (16.38g/L)

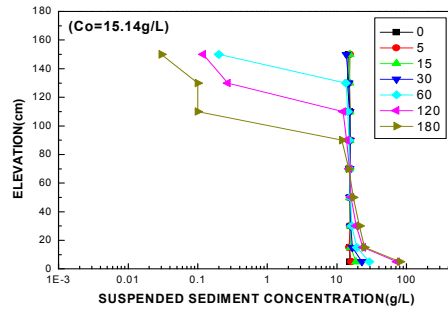


그림 5. 염수 시 고령토
농도단면도 (15.14g/L)

그림 4와 그림 5는 중농도 침강영역($2 < C < 20\text{g/L}$)에서의 부유사의 침강과정을 잘 나타내는 대표적인 단면도로서, 2개의 명확한 경계면의 발달을 공통적으로 보여주고 있다. 담수와 염수조건에서 공통적으로 상부 경계면의 아래로는 부유사의 침강이 계속되나 경계면 위에서는 희석(thinning)이 발생하는 것을 알 수 있는데, 여기서 희석(thinning)은 수주 내 임의의 높이에서의 시간에 따른 부유사 농도의 감소를 의미한다. 또한, 하부 경계면은 간섭침강의 발생과 더불어 연직방향 부유사 침강물의 감소가 시작되는 위치를 나타낸다. Ross(1988)에 따르면 간섭침강(hindered settling)은 부유사 농도가 일반적으로 20g/L 보다 큰 경우에 발생하는 것으로, 시간이 흐름에 따라 부유사의 농도는 어느 위치에서나 증가하고 부유사의 침강은 집단(in mass)의 형태에서 발생하며 lutocline(농도경계면)의 형성을 초래한다. 그림 4와 5의 결과에서 알 수 있듯이, lutocline을 기준으로 한 간섭침강의 부유사농도는 염수(32%)조건에서의 경우가 담수조건보다 더 큰 값을 갖는다.

고령토 퇴적물의 침강속도 산정결과에 대한 한 예로써, 염수조건에서의 결과가 그림 6에 주어진다. 그림 6에서는 데이터가 다소 분산되어 있기는 하나 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 증가하는 응집침강 영역과 역으로 침강속도가 감소하는 간섭침강 영역을 명확히 보여주고 있다.

담수와 염수조건에서의 고령토 퇴적물의 침강속도 비교는 그림 7에 주어진다. 그림 7로부터 알 수 있는 바와 같이, 전체적으로 고령토 퇴적물에 대한 염수조건의 침강속도는 담수조건에서의 침강속도보다 큰 값을 가지며 농도의 증가와 함께 침강속도가 증가하는 응집침강 영역(저농도 구간 : $C < 2\text{g/L}$)에서의 침강속도는 염수조건의 경우가 담수조건보다 약 2배 정도 큰 것으로 나타났다. 반면에 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 감소하는 간섭침강 영역에서는 담수조건에서의 침강속도가 염수조건보다 크게 나타났다. 앞서 언급한 바와 같이 염도는 부유사 입자의 응집을 촉진시키고 입자의 응집은 더욱 큰 침강속도를 초래하므로, 침강특성의 정확한 분석을 위해서는 염도의 영향을 고려해야만 한다.

6. 결론

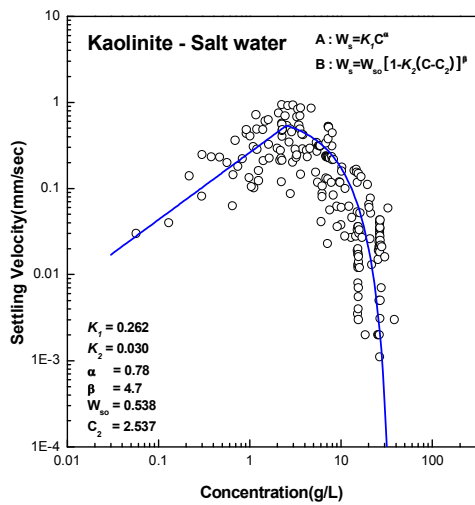


그림 6. 고령토 퇴적물에 대한 염수조건에서의 침강속도 산정결과

본 연구에서는 고령토를 이용한 점착성 퇴적물의 침강특성이 정량적으로 산정되었고, 또한 퇴적물 자체의

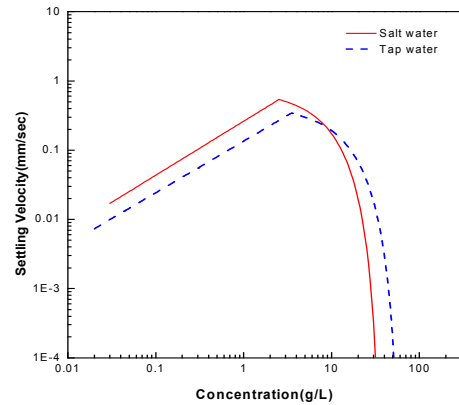


그림 7. 담수·염수조건에서의 고령토 퇴적물의 침강속도 비교

물리·화학적 특성 및 침강수가 침강특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 서로 다른 조건(담수와 염수)

에서의 결과들이 비교, 분석되었으며, 이를 바탕으로 염도가 침강특성에 미치는 영향이 정성적으로 해석되었다. 본 연구를 통하여, 미세 점착성 퇴적물의 침강속도는 염수와 담수 조건에서 정량적으로 명확한 차이를 갖는 것이 확인되었으며, 이는 침강실험 수행 시 특정지역의 유체 특성 즉, 염도를 고려한 침강실험만이 타당성 있는 침강속도를 도출할 수 있다는 것을 의미한다.

감사의 글

본 연구는 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 황규남, (2000). 새만금 개설 퇴적물의 침강속도 산정을 위한 연구, 대한토목학회 논문집, 제 20 권 제2-B권, pp. 277-286.
2. 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.
3. Ross, M.A. (1988). Cohesive sediments in estuarine environment., Ph.D. Dissertation, University of Florida, Gainesville, Florida.