

새만금 끝막이 공사 전후의 점착성 퇴적물의 침강특성 변화 해석

양수현* · 황규남**

*진북대학교 토목공학과

**진북대학교 토목공학과, 공업기술연구센터

An Analysis of the Variation in the Settling Properties of Cohesive Sediments before and after Closure of the Saemankeum Seadike

SU-HYUN YANG* AND KYU-NAM HWANG**

*Dept. of Civil Eng, Chonbuk National Univ., Jeonju, Korea

**Dept. of Civil Eng & RICT, Chonbuk National Univ., Jeonju, Korea

KEY WORDS: Cohesive sediments 점착성 퇴적물, Settling velocity 침강속도, Physico-chemical properties 물리·화학적 특성, Saemankeum 새만금

ABSTRACT: The primary purpose of this study was to quantitatively examine whether there was a difference in the settling velocities of cohesive sediments in the Saemankeum artificial lake before and after the closure of the Saemankeum seadike. Through in situ sediment sampling and laboratory experiments, the settling velocities were estimated as a function of the suspension concentration and their physico-chemical properties, such as grain size distribution, the percentage of organic contents, mineralogical composition, etc. were also examined. In this study, their inter-relation with settling velocities were also analyzed qualitatively. The result of the settling tests for Saemankeum sediments showed that there was a big difference in the settling velocities before and after the closure of the Saemankeum seadike. Its settling velocities in a flocculated settling region became remarkably larger after the closure compared to those before the closure, while they were similar but relatively smaller in a hindered settling region. This was found to be mainly due to the difference in their grain size.

1. 서 론

새만금 간척사업은 총 33km의 방조제를 축조해 총면적 40,100ha의 토지를 조성하는 사업으로서, 2006년 4월에 2호 방조제의 끝막이 공사가 완료됨에 따라 친환경적 내부개발에 대한 중요성이 크게 부각되고 있다. 이는 인구의 증가 및 경제활동의 성장에 따른 공급의 확대를 위한 필요성 측면에서 매우 타당한 사업이나, 환경 및 생태계 파괴 등의 문제로 인하여 사회적 마찰이 커다란 사회문제로 제기되었으며, 이러한 문제는 아직도 진행 중이다.

한편, 대규모 제방 건설 사업으로 인해 조성된 인공호소는 배수갑문을 통한 제한된 배수체계 및 해수호의 담수화 과정으로 인하여 준 평형상태로 유지되고 있는 동역학적·생태학적 역학관계가 파괴되고, 이로 인하여 환경적 측면에서 많은 문제점들이 파생될 수 있다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 과거 사회호의 사례에서 인식되는 바와 같이, 인위적으로 조성된 호소에 널리 분포되어 있는 점착성 퇴적물은 부유 혹은 용해상태의 여러 가지 독성을 가진 오염물질과 결합하여 수질 및 표층퇴적물을 오염시키는 주 원인이 되므로, 점착성 퇴적물의 침식 및 침강(혹은 퇴적)특성에 대한 정량적 평가 및 해석은 필수적으로

요구되는 사항이라 하겠다.

미세 점착성 퇴적물의 침강특성은 사질성 퇴적물과는 달리 입자들 간의 응집(Aggregation) 현상에 의해 크게 영향을 받으며, 그 응집률은 주로 입자간의 충돌빈도와 입자들이 지니는 점착성에 의해 결정된다. 토사 입자들이 갖는 점착성은 주로 퇴적물의 광물질 구성성분, 유기물 함량, 입경분포 등으로 묘사되는 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성에 따라 그 크기가 변화한다 (Mehta, 1986). 따라서 부유 입자에 부여되는 수동학적 조건이 동일하다 하더라도, 퇴적물 자체의 특성에 따라 그 침식 혹은 침강특성은 달라지게 되며, 점착성 퇴적물의 물리·화학적 특성들과 부유 입자의 응집강도와의 정량적인 상관관계는 아직 밝혀지지 않은 상태이다.

한편, 새만금 끝막이 공사로 조성된 인공호소는 배수갑문을 통하여 제한적으로 해수유통이 이루어지고 있으며, 이로 인하여 연안 해역의 해안수리특성 및 유사이동 체계가 변화된다는 것은 이미 박영욱 등(2000)에 의해 강조된 바 있다. 특히, 호소 내부의 담수화 과정으로 인하여 염도가 크게 변화하고 있을 뿐만 아니라, 유동력의 현저한 저감으로 퇴적물의 입경분포 양상이 크게 변화하여 유체의 특성 및 퇴적물 자체의 기본특성이 변화할 수 있음에도 불구하고, 이에 대한 연구는 거의 전무한 상태이다. 과거 많은 연구들에서 새만금 사업에 따른 유속 및 지형변화 예측을 위한 수치모형 실험이 수행된 바 있으나(김정균, 2001; 신문섭, 2000), 퇴적물 자체의 기본특성을 고려한 연구는 거의 전무

교신저자 황규남 : 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가

063-270-2345 khwang@chonbuk.ac.kr

한 실정이므로, 끝막이 공사에 따른 점착성 퇴적물의 제반 이송 특성을 고려한 비교·분석에 대한 연구는 필수적인 사항이라 하겠다.

본 연구에서는 침강수주를 이용한 실내 침강실험을 통하여, 새만금 인공호 점착성 퇴적물의 침강특성이 정량적으로 산정되었으며, 이재연(2001)에 의해 수행된 새만금 끝막이 공사 전의 침강특성과 비교/분석되었다. 또한 과거 타 지역 퇴적물의 침강 특성 결과와 비교되었으며, 퇴적물의 물리·화학적 특성과 침강 특성간의 정성적 상관관계 해석을 통하여, 새만금 인공호 점착성 퇴적물의 침강특성 산정결과의 타당성이 간접적으로 검토되었다.

본 연구를 통하여 도출된 새만금 인공호 점착성 퇴적물의 침강특성에 대한 정량적·정성적 결과들은 향후 새만금 해역에서의 수질 및 휴층퇴적물 이송에 대한 수치모형 프로그램 시 요구 되는 입력 자료로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 해역 내 오염에 대한 대책 방안 수립 및 저면의 침식과 침강(혹은 퇴적)에 따른 하상변동 해석 등 다양한 목적으로 크게 활용될 수 있을 것이다.

2. 표본시료 채취

새만금 인공호 점착성 퇴적물의 침강특성 분석을 위하여 새만금 끝막이 공사 완료 이후인 2007년 2월 13일에 1개 정점(P1)에서 퇴적물 표본시료가 채취되었다. 정점 P1의 수심은 약 8m로, 표본시료는 채취기(Grab sampler)를 이용하여 채취되었으며, 현장 해수 조건을 반영하기 위하여 동일 정점에서 해수가 채취되어 침강실험의 전 과정에서 사용되었다.

한편, 과거 이재연(2001)은 새만금 끝막이 공사 완료 이전인 1999년에 새만금 해역 내의 총 6개 지점(#1~#6)에서 퇴적물 표본 시료를 채취하여 각 시료에 대한 침강속도를 산정한 바 있다. 이들 표본시료의 채취위치(#1~#6) 및 경위도 좌표는 본 연구에서의 퇴적물 채취 정점인 P1과 함께 Fig. 1 및 Table 1에 주어진다.

본 연구에서는, 새만금 끝막이 공사 완료 이후에 채취된 정점 P1 퇴적물 시료에 대한 침강속도가 산정되고, 그 결과는 끝막이 공사 이전인 이재연(2001)에 의한 정점 #1 시료의 침강속도 산정 결과와 비교·분석된다. Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이, 본

연구에서의 퇴적물 시료 채취 위치인 P1은 이재연(2001)에 의한 채취 정점들 중에서 정점 #1과 가장 근접해 있기는 하나, 정확히 일치하지는 않는 것을 알 수 있다. 그러나 이재연(2001)의 침강속도 산정결과에 따르면, 새만금 해역 내에서의 각 정점별 변화는 거의 없는 것으로 제시되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 정점 P1과 정점 #1의 위치가 비록 완전히 동일하지는 않다 하더라도, 그 위치 차이로 인한 침강속도의 변화는 없을 것이라고 가정되었다.

이러한 가정에 근거하여, 본 연구에서는 앞서 언급된 두 정점(P1과 #1) 시료의 침강특성 비교를 통하여, 끝막이 공사 전후 퇴적물의 물리·화학적 특성과 침강특성간의 정성적인 상관관계 해석이 이루어진다.

3. 물리·화학적 특성

본 연구에서는 새만금 인공호 1개 지점에서 채취된 표본시료에 대해 침강실험에 앞서 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성 조사를 위한 실험이 수행되었다. 수행된 실험은 입경분포, 유기물 함량, 광물질 구성에 대한 조사이며, 도출된 결과들은 침강특성 분석 및 과거 타 지역 연구결과와의 비교 분석시 사용된다.

3.1 입경분포

입경분포 분석은 ASTM(American Society for Testing and materials, 1987)이 제시한 방법에 따라 수행되었으며, 입경분포 분석에 대한 자세한 사항은 류홍렬과 황규남(2006)에 주어진다. Fig. 2에 보이는 바와 같이 새만금 인공호의 퇴적물은 과거 새만금 퇴적물(이재연, 2001)보다는 훨씬 더 세립한 분포를 보인다. 또한 Table 2에 제시된 결과에서 알 수 있는 바와 같이, 새만금 인공호 퇴적물의 점토의 함량은 7%로서, 과거 새만금 퇴적물보다 약 1.7배 적은 것으로 나타났다.

3.2 유기물 함량

본 연구에서 새만금 인공호 퇴적물의 유기물 함량은 해양환경 공정시험방법(박용철, 1997)에 따라 강열감량법으로 분석되었다. Table 3에서 알 수 있듯이 새만금 인공호 퇴적물의 유기물 함량

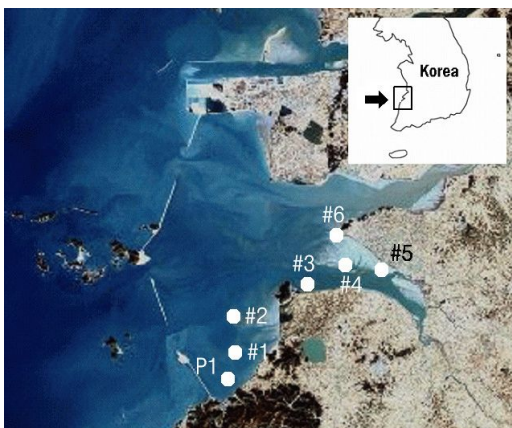


Fig. 1 Location of sampling

Table 1 Coordinates of sampling site

Site	Latitude	Longitude
Saemankeum 2007. (This study) 02. 13.	P1 35° 43 ' 5.5 "	126° 33 ' 35.1 "
	#1 35° 43 ' 40.1 "	126° 33 ' 95.9 "
	#2 35° 43 ' 52.6 "	126° 33 ' 15.0 "
Saemankeum 1999. (이재연 2001) 06. 25.	#3 35° 47 ' 66.8 "	126° 38 ' 64.0 "
	#4 35° 48 ' 35.9 "	126° 43 ' 64.2 "
	#5 35° 48 ' 47.7 "	126° 44 ' 10.5 "
	#6 35° 42 ' 40.1 "	126° 41 ' 50.8 "

은 3%로, 과거 새만금 퇴적물(이재연, 2001)의 유기물 함량보다 약 1.5배정도 크게 나타났으나 이는 거의 동일한 수준의 소량에 해당된다.

3.3 광물질 구성성분

새만금 인공호 퇴적물 표본시료에 대한 광물질 구성성분 분석은 전북대학교 공동시험소가 보유하고 있는 회절분석기(X-ray diffraction)를 이용하여 수행되었다. 본 연구에서는 광물질 구

성성분의 정량적인 분석은 수행되지 않고, 단지 정성적인 분석만이 수행되었으며, 그 결과는 타 지역의 결과들과 함께 Table 4에 주어진다. 표에 주어진 바와 같이, 새만금 인공호 점착성 퇴적물의 광물질 구성성분은 내림차순으로 석영, 장석, 미사장석, 일라이트, 고령토, 녹니석 등이 지배적인 성분인 것으로 나타났으며, 이러한 양상은 과거 새만금 퇴적물의 분석결과와 거의 유사한 것으로 나타났다.

4. 침강실험

본 연구에서는 새만금 인공호 퇴적물에 대한 침강실험을 위하여 특수 제작된 침강수주를 사용하였으며 침강수주의 제원 및 특성과 침강실험에 대한 자세한 사항은 서영덕 등(2008)에 주어진다. 침강실험은 1개 지점(P1)에서 채취된 퇴적물 시료에 대하여 총 6회의 실험이 수행되었으며, 본 연구의 목적은 점착성 퇴적물의 침강특성 조사이므로, 정점 P1에서 채취된 시료를 No.200체를 이용하여 Set-sieving방법으로 분리된 미세 토사 입자들만이 침강실험에 사용되었다. 각 실험별 실험조건은 Table 5에 주어진다.

Table 5에서 알 수 있듯이 각 실험별 수주 내 현탁액의 온도 변화는 1°C내외로서 실험 중의 온도변화는 비교적 작았으나, 실험 전체로 볼 때에 현탁액의 온도는 9.0°C부터 12.0°C까지 변화하였다. 각 실험에서의 초기 부유사 농도 C_0 값 또한 Table 5에 주어지며, 초기농도는 0.76g/L에서 31.12g/L까지 변화하였음을 알 수 있다. 초기농도는 부유사의 농도가 진 수심에 대해 거의 균일하도록 충분히 잘 섞은 시점의 시간, 즉 시간 0에서의 부유사의 농도를 나타낸다.

침강속도(W_s)는 정지수면 조건하에서의 부유입자 혹은 플록(Floc)의 하강속도로 정의된다. 점착성 퇴적물의 침강속도는 부유사의 농도(C)의 함수로 주어지며, 침강을 나타내는 방정식은 1차원 질량보존 방정식으로 다음의 식과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{\partial (F_s)}{\partial z} = - \frac{\partial (W_s C)}{\partial z} \tag{1}$$

부유사 침강플럭스 F_s 는 침강속도와 부유사 농도의 곱, $W_s C$ 로 주어지며, 여기서 침강속도 W_s 는 연직방향 좌표 z 의

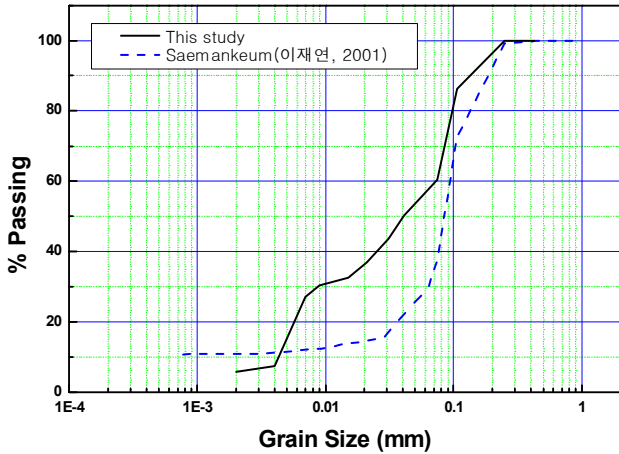


Fig 2 Comparison of grain size distribution

Table 2 Comparison of sand, silt and clay contents

Site	Sand(%) (d>62.5)	Silt(%) (62.5>d>4)	Clay(%) (d<4)(μm)
Saemankeum (This study)	42	51	7
Saemankeum (이재연, 2001)	61	28	11

Table 3 Comparison of organic contents

Site	Organic contents(%)
Saemankeum (This study)	3
Saemankeum (이재연, 2001)	2

Table 4 Comparison of mineralogical compositions

Rank	Saemankeum (This study)	Rank	Saemankeum (이재연, 2001)
1	Quartz	1	Quartz
2	Feldspal	2	Feldspal
	Albite		Albite
3	Illite	3	Illite
4	Kaolinite	4	Kaolinite
	Chlorite	5	Chlorite

Table 5 Condition of settling test

Site	Test No.	Temp. of suspension(°C)	C_0 (g/L)
P1	1	9.0	0.76
	2	10.0 ~ 10.2	4.29
	3	14.0 ~ 15.0	10.45
	4	12.0	16.75
	5	11.0 ~ 12.0	19.80
	6	13.0	31.12

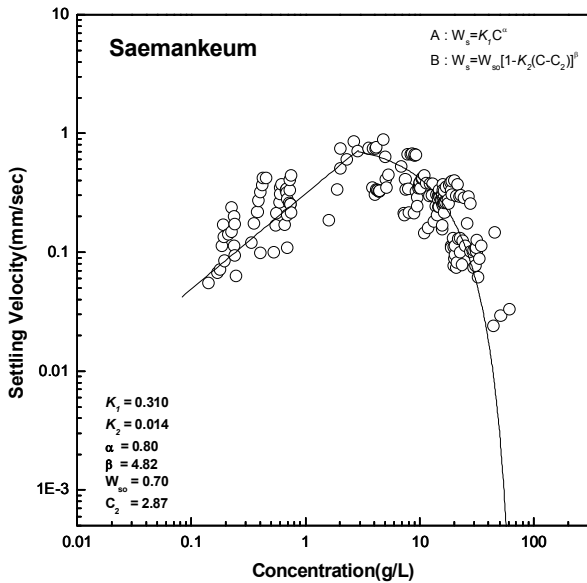


Fig. 3 Settling velocity curve of fine-cohesive sediment on Saemankeum lake

함수이므로 미분 수행시에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 Ross(1988)가 개발한 정지수면상의 각각의 수심과 시간에서의 부유사 침강속도 산정을 위한 수치모형이 사용된다.

중량 분석을 통하여 침강수주의 각기 다른 높이와 시간에서 채취된 탁수들의 부유사 농도가 측정되었으며, 각 실험별로 농도 단면도가 작성되었다. 이 농도단면도들은 Ross(1988)의 수치 프로그램에 입력값으로 입력되어 침강속도가 산정되었다. 세만금 점착성 퇴적물에 대한 침강속도 산정 결과 및 집합곡선은 Fig. 3에 주어진다.

데이터가 다소 분산되어 있기는 하나, Fig. 3은 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 증가하는 응집침강 영역(0.1 < C, < 10g/L)과, 역으로 침강속도가 감소하는 간섭침강 영역(10 < C, < 90g/L)을 명확히 보여주고 있다. 집합곡선(Fitted line) 주위의 데이터가 다소 분산되는 이유는 침강과정 중에 입자간의 충돌(Collision)과 응집(Flocculation)현상으로 인하여 침강속도에 있어 다소 시간적 오차가 발생하였던 것으로 생각되며, 또한 초기에 균일한 농도분포를 얻기 위하여 수주 안에서 Bubbler tube로 혼합하는 방법을 적용하였는데 이러한 실험과정에서도 다소 오차가 발생하였을 것으로 추정된다.

응집침강 영역에서 부유사의 농도가 증가함에 따라 입자 상호간의 충돌률이 증가하게 되어 결과적으로 입자간의 응집률이 향상되게 된다. 따라서, 이 영역에서는 농도가 증가함에 따라 결속력이 더 강하고, 밀도가 크며, 크기가 더 커진 Floc들이 형성되어 침강속도가 증가하게 되는데, 이러한 응집침강 영역에서의 침강속도 분포곡선의 일반적인 표현식은 부유사 농도의 함수로서 다음의 식 (2)와 같이 주어진다.

$$W_s = k_1 C^\alpha \quad (2)$$

식 (2)를 적용하여 최소자승법을 통해 산정된 α 와 k_1 값은 Fig. 3에 주어진 바와 같이 각각 0.80과 0.310을 갖는 것으로 나타났다.

한편, 간섭침강 영역에서는 Floc들이 격자망(Network)을 형성하여 공극수의 상승이동을 방해하여 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 감소하게 되며, 이 영역에서의 침강속도는 일반적으로 다음과 같이 주어진다.

$$W_s = W_{s0} [1 - k_2(C - C_2)]^\beta \quad (3)$$

식 (3)을 적용하여 도출된 간섭침강 영역에서의 침강속도 집합곡선 역시 Fig. 3에 주어지며, W_{s0} , C_2 , k_2 및 β 값은 각각 0.70, 2.87, 0.014 및 4.82인 것으로 나타났다.

5. 침강속도 곡선의 비교

5.1 끝막이 공사 전후의 침강속도 비교

과거 이제연(2001)은 세만금 해역의 끝막이 공사 전 점착성 퇴적물의 표본을 채취하고, 실내실험을 통하여 세만금 점착성 퇴적물의 침강속도를 정량적으로 분석한 바 있다. 따라서 본 연구를 통하여 도출된 끝막이 공사 후 세만금 인공호 퇴적물에 대한 침강속도 산정결과를 과거 이제연(2001)의 결과와 비교되며, 끝막이 공사 이후 퇴적물(정점 P1)과 끝막이 공사 이전 퇴적물(정점 #1)의 침강속도 곡선의 비교는 Fig. 4에 주어진다. Fig. 4에서 알 수 있듯이, 본 연구를 통하여 산정된 세만금 인공호 퇴적물의 침강속도 곡선과 과거 이제연(2001)의 결과가 정량적으로 상당히 다른 침강속도 값을 갖는다는 것은 매우 흥미로운 사실이다. 농도의 증가와 함께 침강속도가 증가하는

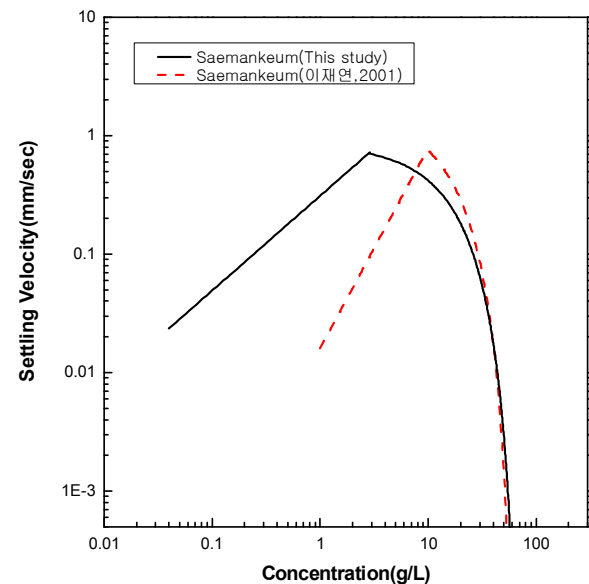


Fig. 4 Comparison of settling velocity curve with previous test

Table 6 Comparison of properties about sediment and fluid with construction of Saemanekum seadike

Site	Water temp. (°C)	Salinity (%)	Concentration (mg/L)	Grain size (μ m)	Organic contents(%)	Mineral matter	Temp. of suspension(°C)
Saemankeum(This study)	7.6	26.1	0.04	19	3	Quartz	9.0~15.0
Saemankeum(이재연, 2001)	-	-	-	48	2	Quartz	26.2~27.0

응집침강 영역(혹은 저농도 구간 : $C < 3\text{g/L}$)에서 끝막이 공사 이후 퇴적물의 침강속도는 평균적으로 끝막이 공사 이전 새만금 퇴적물의 침강속도보다 약 10배정도 크며, 중농도 구간($3 < C < 20\text{g/L}$)에서는 끝막이 공사 이후 퇴적물의 침강속도가 끝막이 공사 이전 퇴적물의 침강속도보다 작아진다. 한편, 고농도 구간($C > 20\text{g/L}$)인 경우에는 끝막이 공사 전후 퇴적물의 침강속도가 거의 비슷하게 나타났다. 또한, 끝막이 공사 이후 퇴적물의 경우에 최대 침강속도는 부유사 농도값이 약 2~3g/L일 때 발생하고, 이재연(2001)의 결과의 경우에는 약 10g/L 이상의 부유사 농도에서 최대 침강속도를 갖는다.

이러한 침강속도의 차이를 물리·화학적 특성과 연계하여 해석하기 위하여, 끝막이 공사 전후의 새만금 인공호 퇴적물 시료에 대한 물리·화학적 특성 실험 결과 및 유체특성이 요약되어 Table 6에 주어진다. 앞서 4장에서 언급한 바와 같이, 본 연구는 점착성 퇴적물의 침강특성이므로, Table 6에 제시된 평균입경은 No. 200체를 통과한 미세 토사 입자들에 대한 평균을 의미한다.

우선 평균입경을 살펴보면, 새만금 퇴적물의 평균입경은 19 μ m로 과거 새만금 퇴적물의 48 μ m보다 약 2.5배 작은 것으로 나타났다. 반면에 유기물 함량과 광물질 구성성분은 2~3% 및 석영으로 동일하게 나타났으므로, 유기물 함량과 광물질 구성성분에 대한 더 이상의 논의는 생략된다.

일반적으로 점착성 퇴적물은 평균입경이 작을수록, 그리고 유기물 함량이 클수록 점착력이 증가하는 경향이 있으며, 또한 광물학적 측면에서 보면, 보편적으로 점착성 퇴적물에 많이 함유되어 있는 고령토, 일라이트, 녹니석 등의 광물성 점토보다 석영은 훨씬 작은 점착력을 갖는다. 따라서 Fig. 4에 제시된 바와 같이 끝막이 공사 이후 퇴적물의 입경이 훨씬 작으므로 점착력에 의한 침강효과가 더 클 것으로 추정된다.

이러한 해석은 응집침강 영역과 간섭침강 영역에서의 침강속도 크기를 정량적으로 비교할 때에 그 타당성을 갖는다. 퇴적물의 점착력이 크다는 것은 부유토사 입자간의 응집력이 크다는 것을 의미하므로, 응집 효과에 의한 침강속도의 증가가 지배적인 응집침강 영역에서 상대적으로 점착력과 중력의 효과가 큰 끝막이 공사 이후 퇴적물이 끝막이 공사 이전 퇴적물보다 더 큰 침강속도를 갖게 되었다고 해석할 수 있다(Fig. 4 참조). 반면에 고농도시에 토사 입자간의 응집효과가 침강속도를 감소시키는 간섭침강 영역에서는 점착력이 더 큰 끝막이 공사 이후 퇴적물이 끝막이 공사 이전 퇴적물보다 작은 침강속도를 가지다가 부유사 농도값이 30g/L일 때, 침강속도는 거의 비슷하게 나타났다.

일반적으로 미세 점착성 퇴적물의 침강속도를 지배하는 대

표적 인자는 부유사 농도이다(Krone, 1962; Mehta, 1986). 이러한 이유로 본 연구에서 점착성 퇴적물의 침강속도는 부유사 농도의 함수로 분석되었는데, 이 외에도 침강속도에 미치는 인자들은 유체 및 퇴적물의 특성과 관련된 염도, 수온 등과 같은 인자라 할 수 있을 것이다.

염도(Salinity)는 부유사 입자의 응집(Flocculation)을 촉진시키고 입자의 응집은 더 큰 침강속도를 초래한다. 일반적으로 미세 점착성 퇴적물의 침강속도는 염도의 유무, 즉 해수를 사용할 때와 담수(Fresh water)를 사용할 때의 두 경우에 있어 상당한 차이를 보이나, 해수의 염도 증가로 인한 침강속도의 변화는 상대적으로 크지 않은 것으로 알려지고 있다(Burt, 1986). Table 6에 나타난 바와 같이, 이재연(2001)에 의해 수행된 실험에서 염도조건은 측정되지 않아 방조제 건설에 따른 염도의 차이를 비교하기는 어려우나, 방조제 건설 이후에도 제한적이나마 배수갑문을 통해 해수가 유통되고 있으므로 방조제 건설 전후의 염도 차이는 미미할 것으로 판단된다. 이러한 까닭에 염도의 차이가 침강속도에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단되며, 이에 본 연구에서는 염도에 차이에 의한 영향은 배제되었다.

한편, 온도의 변화가 침강속도에 미치는 영향은 온도에 다른 점성계수 크기의 변화에 한정된다(van Leussen, 1988; Burt, 1986). Table 6에 비교된 끝막이 공사 전후 퇴적물의 실험시 현탁액의 온도는 평균 약 15°C정도 차이를 보이는데 이에 대한 점성계수의 변화는 약 40%(0.4배)가 되며, 이 값은 Fig. 4에 나타난 침강속도 크기에서의 차이(최대 10배)와 비교시에 상대적으로 아주 작은 값이라 하겠다. 물론, 모든 점착성 퇴적물에 대하여 정량적으로 더욱 정밀한 침강속도 값을 산정하기 위해서는 온도에 대한 보정기준이 필요하며, 이에 대한 체계적이고 구체적인 연구가 필수적으로 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시된 끝막이 공사 전후 퇴적물에 대한 침강속도의 정량적 차이는, 앞서 제시된 유효한 데이터에 근거하여 볼 때에 퇴적물의 평균입경의 차이에 의한 것으로 추정되며, 이는 물리·화학적 특성 중 입경분포가 침강속도에 미치는 영향이 유기물 함량과 광물질 구성성분보다는 더 큰 것으로 판단된다.

5.2 타 지역 점착성 퇴적물의 침강특성과의 비교

새만금 인공호 퇴적물의 침강속도에 대한 본 연구의 결과와 과거 타 지역 점착성 퇴적물에 대한 실험결과와의 비교·검토를 통하여 미세 점착성 퇴적물 침강특성의 지역적 변화에 대한 정성적 분석이 수행되었다. 본 연구를 통하여 도출된 새만금 퇴적물에 대한 침강속도 산정 결과와 함께 시화호(류홍렬과 황규남, 2006) 및 Okeechobee호(Hwang and Mehta, 1989) 점착성 퇴

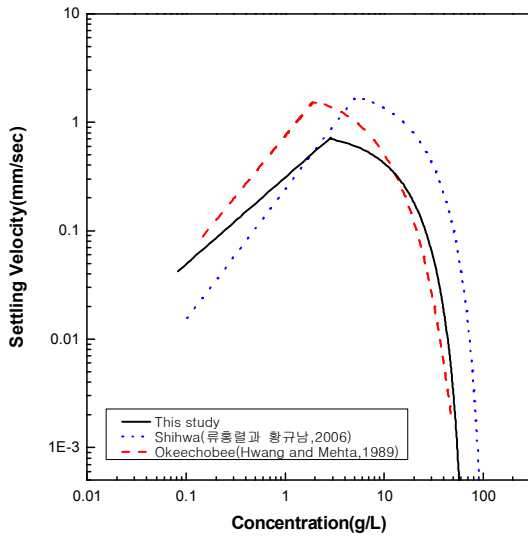


Fig. 5 Comparative curve of settling velocity with others

적물들에 대한 침강속도 산정결과가 Fig. 5에 주어진다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이, 각 침강속도 곡선은 주어진 부유사 농도 값에 대해 정량적으로 상당히 다른 침강속도 값을 갖는다. 농도의 증가와 함께 침강속도가 증가하는 응집침강 영역 (혹은 저농도 구간: $C < 3\text{g/L}$)에서 세만금 인공호 퇴적물의 침강속도는 평균적으로 시화호 퇴적물의 침강속도보다 약 2배정도 크고, Okeechobee호 퇴적물보다는 약 2배정도 작은 값을 가진다. 한편, 중농도 구간($3 < C < 20\text{g/L}$)에서는 세만금 퇴적물의 침강속도가 Okeechobee호 퇴적물의 침강속도보다 여전히 작으며, 시화호 퇴적물보다는 작은 값을 가진다. 고농도 구간 ($C > 20\text{g/L}$)인 경우에는 Okeechobee호 퇴적물이 가장 작은 침강속도 값을, 세만금 인공호 퇴적물, 시화호 퇴적물 순으로 큰 침강속도 값을 가진다. 또한, Okeechobee호 퇴적물의 경우에 최대 침강속도는 부유사 농도값이 약 1~2g/L일 때 발생하고, 시화호 퇴적물은 5~6g/L에서 발생하며, 세만금 인공호 퇴적물의 경우에는 약 2~3g/L의 부유사 농도에서 최대 침강속도를 갖는다.

5.3 퇴적물의 물리·화학적 특성이 침강특성에 미치는 영향

본 연구에서는 침강속도 특성의 지역적 변화 원인에 대해서 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성과 연계하여 정성적으로 분석하였으며, 세만금 인공호 퇴적물과 시화호, 그리고 Okeechobee호 퇴적물의 물리·화학적 특성비교는 Table 7에 주어진다.

Table 7에서 알 수 있듯이 평균입경은 시화호 퇴적물이 35 μm 로 가장 크고, 그 다음으로 세만금 퇴적물의 평균입경이 크며, Okeechobee호의 퇴적물이 15 μm 로 가장 작게 나타났다. 유기물 함량은 Okeechobee호 퇴적물이 40%로 가장 크고 시화호 및 세만금 퇴적물은 각각 6%와 3%인 것으로 나타났다.

한편 광물질 구성성분은 시화호 퇴적물이 세만금 인공호 퇴적물과 동일하게 석영이 주된 광물질로 구성되어 있으며, 예외

Table 7 Comparison of the physico-chemical properties of sediment with other regions

Item	Saemankeum (This study)	Shihwa	Lake Okeechobee
Grain size	19	35	15 μm
Mineral matter	Quartz	Quartz	Kaolinite
Organic contents	3	6	40%

적으로 Okeechobee호 퇴적물만이 고령토가 주된 광물질 성분이다.

앞서 언급한 바와 같이 점착성 퇴적물은 평균입경이 작을수록, 그리고 유기물 함량이 클수록 점착력이 증가하는 경향이 있으며, 또한 광물학적 측면에서 보면, 보편적으로 점착성 퇴적물에 많이 함유되어 있는 고령토, 일라이트, 녹니석 등의 광물성 점토보다 석영은 훨씬 작은 점착력을 갖는다. 따라서, Fig. 5에 제시된 4개의 퇴적물 중에 Okeechobee호 퇴적물이 점착력에 의한 침강효과가 가장 크고, 그 다음으로 세만금 인공호, 시화호 순으로 클 것으로 추정된다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이, 응집 효과에 의한 침강속도의 증가가 지배적인 응집침강 영역에서 상대적으로 점착력이 작고 중력의 효과가 큰 세만금 인공호 퇴적물이 Okeechobee호 퇴적물의 침강속도보다 작은 침강속도를 갖게 되었다고 해석할 수 있다(Fig. 5참조). 반면에 고농도시에 토사 입자간의 응집효과가 침강속도를 감소시키는 간섭침강 영역에서는 점착력이 더 큰 Okeechobee호 퇴적물이 세만금 퇴적물보다 작은 침강속도를 갖는 결과가 초래되었다고 설명될 수 있다.

Fig. 5에서 세만금 퇴적물의 침강속도는 응집침강 영역에서는 시화호 퇴적물보다는 크고, Okeechobee호 퇴적물보다는 작은 값을 가지다가, 간섭침강 영역의 초기부분에서부터 Okeechobee호 퇴적물의 침강속도보다 크고, 시화호 퇴적물보다 작게 나타났다. 이러한 결과는 물리·화학적 특성 중 세만금 인공호 퇴적물의 평균입경이 시화호>세만금 인공호>Okeechobee호 퇴적물 순이며, 유기물 함량의 크기는 Okeechobee호가 시화호 및 세만금 인공호에 비하여 현저하게 크므로, 이론적으로 타당한 결과라고 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 세만금 인공호 퇴적물의 침강특성을 정량적으로 산정하기 위하여 침강수주를 이용한 실내실험이 수행되었다. 1개 정점에 대하여 총 6회의 침강실험이 수행되어 각 실험별 농도단면도가 작성되었으며, Ross(1988)가 개발한 수치모형을 통하여 부유사 농도별 침강속도 값들이 산정되었다. 세만금 인공호 퇴적물에 대한 침강속도 산정결과는 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 증가하는 응집침강 영역($0.1 < C < 10\text{g/L}$)과 역으로 침강속도가 감소하는 간섭침강 영역($10 < C < 90\text{g/L}$)이 명확히 나타났으며, 침강속도는 모든 퇴적물 시료에 대해 부유사 농도 값이 $0.1 < C < 60\text{g/L}$ 에서 $0.024 < W_s < 0.88\text{mm/sec}$ 사이의 침강속도 값을 갖는 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 산정된 끝막이 공사 이후 퇴적물의 침강속도는 끝막이 공사 이전 퇴적물의 침강속도와 비교되었으며, 그 결과 끝막이 공사 이후 퇴적물의 침강속도는 끝막이 공사 이전보다 최대 10배 이상 커진 것으로 나타났다. 퇴적물의 물리·화학적 특성과 연계한 침강특성 해석 결과에 따르면, 끝막이 공사 전후에서의 침강속도 크기의 이러한 현저한 차이는 주로 입경의 변화에서 비롯된 것으로 해석되었다. 끝막이 공사 완료 후 새만금 인공호 내부에서의 유동력은 끝막이 공사 전보다 상당히 약화되고, 이로 인하여 내부 퇴적물의 입경은 일반적으로 세립화 된다는 점을 고려할 때에, 본 연구를 통하여 도출된 침강속도 산정 결과는 매우 타당성을 갖는다고 하겠다.

또한 새만금 인공호 퇴적물의 침강속도는 과거 타 지역 점착성 퇴적물의 침강속도가 비교되었는데, 새만금 퇴적물의 침강속도는 응집침강 영역에서는 시화호 퇴적물보다 크고, Okeechobee호 퇴적물보다는 작은 값을 가지다가, 간섭침강 영역의 초기부분에서부터 Okeechobee호 퇴적물의 침강속도보다 크고, 시화호 퇴적물보다는 작게 나타났다. 이러한 결과는 퇴적물의 물리·화학적 특성 중 입경분포와 유기물 함량의 차이에 의한 영향인 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 도출된 새만금 인공호 점착성 퇴적물의 침강특성 매개변수의 정량적 결과는 향후 수질 및 휴층퇴적물 이송에 대한 수치모형 프로그램 사용 시에 요구되는 침강 특성 입력 자료로 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 점착성 퇴적물의 침강특성은 "site-specific"한 특성을 가지므로, 황규남(2000), 류홍렬 과 황규남(2006)에 의해 강조된 바와 같이 침강 특성 산출을 위한 현장관측이나 실내실험이 없이 단지 수치모형실험만을 통한 해석 및 예측은 무의미하다고 하겠다.

결 론

본 연구는 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김정균 (2001). 새만금 사업에 따른 조류속 및 지형변화, 석사 학위논문, 전북대학교.
 류홍렬, 황규남 (2006). "시화호 점착성 퇴적물의 침강·침식 특성 매개변수 산정에 대한 실험적 연구", 한국해양·해양 공학회지, 제18권, 제3호, pp 179-188.
 박영욱, 어대수, 박상현 (2000). "새만금 방조제 물막이 구간 주변에서의 지형변화예측", 한국농공학회 학술발표회 논문

- 집, pp 365-370.
 박용철 (1997). 해양환경공정시험방법, 한국해양학회, 국립수산진흥원.
 서영덕, 진재율, 황규남 (2008). "한강 하구역 점착성 퇴적물 침강속도의 지엽적/공간적 변화", 한국해양공학회지, 제22권, 제1호, pp 37-45.
 신문섭 (2000). "새만금 간척 전후의 잔차류의 계절변화에 관한 연구", 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp 47-53.
 이재연 (2001). 새만금 해역 갯벌 퇴적물의 침강 특성에 관한 연구, 석사학위논문, 전북대학교.
 황규남 (2000). "새만금 갯벌퇴적물의 침강속도 산정을 위한 실험적 연구", 대한토목학회논문집, 제20권, 제2-B호, pp 277-286.
 ASTM (1987). Annual Book of A.S.T.M. Standards. Vol 04.08, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
 Burt, T.N. (1986). "Field Settling Velocities of Estuary Muds." Estuarine Cohesive Sediment Dynamics, Edited by Mehta, A.J., Springer-Verlag, Berlin, pp 126-150.
 Hwang, K.-N. and Mehta, A.J. (1989). Fine-sediment Erodibility in Lake Okeechobee, Florida. UFL/COEL-89/019, Coastal and Oceanographic Engineering Dept., University of Florida, Gainesville, Florida.
 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, University of California, Berkeley, California.
 Mehta, A.J. (1986). "Characterization of Cohesive Sediment Properties and Transport Processes in Estuaries." Estuarine Cohesive Sediment Dynamics, Edited by Mehta, A.J., Springer-Verlag, Berlin, pp 290-325.
 Ross, M.A. (1988). Cohesive Sediments in Estuarine Environment. Ph.D. Dissertation, Univ. of Florida, Gainesville, FL.
 van Leussen, W. (1988). "Aggregation of Particles, Settling Velocity of Mud Floccs - A Review." Physical Processes in Estuaries, Edited by Dronkers J. and van Leussen, W., Springer-Verlag, Berlin, pp 347-403.

2008년 6월 3일 원고 접수

2008년 7월 17일 최종 수정본 채택