새만금 미세점착성 퇴적물의 침강특성 : 퇴적물의 물리·화학적 특성의 영향

Settling Characteristics of Saemankeum Fine-Cohesive Sediments : Effects of Physico-Chemical Properties

황 규 남* / 조 용 식** / 이 태 환***

Hwang, Kyu Nam / Cho, Yong Sik / Lee, Tae Hwan

Abstract

A series of settling tests and physico-chemical property tests on Saemankeum fine-cohesive sediments has been conducted in order to investigate the correlation between settling properties and their physico-chemical properties which are represented as grain size distribution, mineralogical composition, and percentage of organic contents. Experimental results of physico-chemical property tests show that Saemankeum sediments are relatively large in average grain size($52\mu\text{m}$), and contain very small organic materials(2%), and are dominantly composed of Quarts in mineralogical aspect which has relatively low cohesion. Thus, Saemankeum sediments might be specified as the sediments whose settling properties are more influenced by the gravity than the cohesion. This characteristics of Saemankeum sediments are found to lead to relatively small settling velocity in flocculated settling region in which increasing cohesion results in increasing settling velocity, while relatively large settling velocity in hindered settling region in which settling velocity decreases with increasing cohesion.

keywords : fine-cohesive sediment, settling properties, physico-chemical properties, Saemankeum

요 지

새만금 미세점착성 퇴적물의 침강특성을 퇴적물 자체의 물리·화학적 기본특성과 연계·해석하기 위하여, 퇴적물의 입경분포, 광물질 구성 및 유기물 함량 조사로 구성되는 새만금 퇴적물에 대한 물리·화학적 특성 조사가 수

-
- * 정희원 · 전북대학교 토목환경공학부, 공학연구원 공업기술연구센터, 조교수
Assistant Professor, Div. of Civil & Environmental Eng., Chonbuk Univ., Duckjin-dong 1 Ga, Duckjin-gu, Chonju 561-756, Korea
(E-mail : khwang@moak.chonbuk.ac.kr)
- ** 정희원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과, 부교수
Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Hanyang Univ., Haengdang-dong 17, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea
(E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr)
- *** 정희원 · (주)대우건설 토목사업본부 이사, 공학박사
Ph.D., Director, Civil Project Div., Daewoo E&C Co., Ltd., Namdaemunro 5-ga 541, Jung-gu Seoul 100-714, Korea
(E-mail : thlee@mail.dwconst.co.kr)

행되었다. 새만금 퇴적물의 물리·화학적 특성에 대한 분석 결과, 새만금 퇴적물은 평균입경($52\mu\text{m}$)이 비교적 큰 유기물 함량(2%)이 매우 작으며, 점착력이 비교적 작은 석영이 주된 광물질 구성성분으로 점착력에 의한 침강효과 보다는 중력에 의한 침강효과가 더 큰 퇴적물인 것으로 밝혀졌다. 따라서 이러한 효과로 인하여, 새만금 퇴적물은 응집효과가 침강속도를 증가시키는 응집침강 영역에서 비교적 작은 침강속도를 가지며, 응집효과가 침강속도를 감소시키는 간접침강 영역에서는 비교적 큰 침강속도를 갖는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 미세점착성 퇴적물, 침강특성, 물리·화학적 특성, 새만금

1. 서론

미세점착성 퇴적물은 보통 무기성 광물, 유기물 및 생화학물(biochemicals)의 혼합체이며, 광물 입자들은 주로 점토와 실트로 구성되어 있다. 이러한 혼합체의 침강특성은 사질성 퇴적물과는 달리 입자들 간의 응집(aggregation) 현상에 의해 크게 영향을 받으며, 그 응집물은 주로 입자간의 충돌빈도(collision frequency)와 입자들이 지니는 점착성(cohesion)에 의해 결정된다. 입자간의 충돌빈도는 부유사 농도와 가장 직접적으로 관계가 있으며, 이 외에 충돌빈도는 브라운 운동(Brownian motion), 유체전단강도(fluid shearing intensity), 차등침강(differential settling) 등에 의해 영향을 받는다.

한편, 토사 입자들이 갖는 점착성은 주로 퇴적물의 광물질 구성성분(mineralogical composition), 양이온 전도율(cation exchange rate), 유기물 함량(organic content), 입경분포(grain size distribution) 등으로 묘사되는 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성에 따라 그 크기가 크게 변화하며(Mehta, 1986), 이러한 퇴적물 자체의 기본특성은 지역적으로 변화하는 “site-specific”한 특성을 갖는다. 따라서, 퇴적물 중에 점토의 함량이 많으면 그 평균입경은 일반적으로 작아지고, 또한 점토가 갖는 점착성으로 인하여 응집강도는 증가하게 된다. 또한 점토는 광물학적으로 크게 광물성 점토와 비광물성 점토로 구분되고, 광물성 점토는 고령토(Kaolinite), 일라이트(Illite), Montmorillonite, 녹니석(Chlorite) 등으로 분류되는데, 일반적으로 광물성 점토가 비광물성 점토보다 점착성이 크며, 나열된 광물성 점토 중에 Montmorillonite가 가장 점착성이 크다. 퇴적물 중에 유기물의 함량이 크면, 토사 입자간의 점착효과는 또한 증대한다. 그러나, 이 경우에 유기물 자체의 단위중량은 비교적 작아 침강속도에 미치는 영향은 명확하게 알려지고 있지 않은 상태이다(이재연, 2001).

앞서 언급된 광물질 구성성분, 양이온 전도율, 유기

물 함량, 입경분포 등으로 묘사되는 점착성 퇴적물의 물리·화학적 특성들과 부유 입자의 응집강도와와의 정량적인 상관관계는 아직 밝혀지지 않은 상태이며, 침강속도 지배 인자들의 이러한 다양성과 복잡성으로 인하여, 점착성 퇴적물의 침강속도에 대한 이론적·해석적 해의 도출은 현재 불가능한 상태이다. 따라서, 점착성 퇴적물의 침강속도는 현장이나 실내실험을 통하여 직접 측정되어야만 하며, 가장 지배적인 인자로 여겨지는 부유사 농도의 함수로 표현되는 것이 일반적이다(Krone, 1962; Mehta, 1988; Burt, 1986; van Leussen, 1988).

최근 황규남(2000)은 침강수주(settling column)를 이용한 실내 침강실험을 통하여 새만금 해역 1개 지점 미세점착성 퇴적물 시료에 대해 침강속도를 측정하고, 부유사 농도의 함수로 침강속도 경험식을 도출한 후에 타 지역 미세점착성 퇴적물의 침강속도 경험식과 정량적으로 비교·분석하여, 점착성 퇴적물의 침강속도의 크기가 지역적으로 크게 변화함을 확인하였다. 한편 이 연구에서 침강속도 크기의 이러한 현저한 차이는 유체 특성(즉 수온 및 염도)의 차이에서 비롯되었다기보다는 퇴적물 자체가 갖는 물리·화학적 특성의 차이에서 비롯된 것으로 추정되었으며, 이에 대한 검증은 위해 물리·화학적 특성에 대한 보충실험의 필요성이 강조되었다.

따라서, 본 연구에서는 황규남(2000)의 침강실험에서 사용된 시료와 동일한 퇴적물 시료에 대해 물리·화학적 특성 조사를 위한 보충실험을 수행하고, 이러한 특성들과 침강속도간의 상관관계 및 침강속도 크기의 변화에 미치는 영향에 대해 해석하고자 한다. 물리·화학적 특성 조사를 위해 수행된 실험은 입경분포, 유기물 함량, 광물질 구성 실험의 3가지 항목이며, 각각의 물리·화학적 특성이 침강속도 크기에 미치는 영향을 정성적으로 분석하였다. 또한 본 연구를 통하여 도출된 새만금 점착성 퇴적물의 침강속도 곡선식은 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성과 연계하여 해외 타 지역에서

의 실험결과와 비교·검토하였다.

2. 현장 표본 채취

물리·화학적 특성 실험을 위한 미세점착성 퇴적물 표본시료는 과거 황규남(2000)의 침강실험에서 사용된 시료와 동일한 시료를 사용하여 수행되었다. 이 시료는 1999년 6월 25일에 새만금 해역 총 6개 지점에서 채취된 시료 중에 지점 #3에서 채취된 시료에 해당한다. 표본채취 지점의 위치도와 경·위도 좌표계는 황규남(2000)에 나타나 있다. 퇴적물 표본시료는 grab sampler를 이용하여 지점별로 약 20 liter 정도가 채취되었으며, 또한 현장과 동일한 조건하에서 실험을 수행하기 위하여 약 2드림 정도의 해수도 채취되었다. 채취된 해수는 침강실험 전과정에서 사용되었다.

3. 물리·화학적 특성 실험

앞서 기술된 바와 같이 퇴적물의 물리·화학적 특성 조사를 위해 본 연구에서 수행된 실험은 입경분포, 유기물 함량, 광물질 구성에 대한 3가지 조사이다. 본 연구에서는 양이온 전도율에 대한 시험은 생략되었으며, 또한 광물질구성에 대한 분석시에 정성적인 분석만을 수행하였다. 본 장에서 도출된 결과들은 6장에서 물리·화학적 특성과 연계된 침강특성 해석시에 사용된다.

3.1 입경분포

본 연구에서 입경분포는 체분석과 비중계법을 병행

하여 분석되었다. 우선 지점 #3의 표본시료는 No.230번 체($\phi = 62.5\mu\text{m}$)를 기준으로 wet-sieving 방법으로 시료를 분리하여 No.230번 체를 통과한 시료에 대해서는 비중계 실험을 수행하고 체에 남은 시료에 대해서는 체 분석을 수행하였다. 비중계 실험은 ASTM (1987)이 제시한 방법에 따라 수행되었다.

체분석과 비중계 실험을 통하여 산정된 지점 #3 점착성 퇴적물의 입경분포 곡선과 입경 특성은 그림 1에 주어진다. 그림으로부터 새만금 퇴적물의 입경은 0.6~800 μm 의 범위에 분포하며, 평균입경은 52 μm 임을 알 수 있다. 또한 국립수산진흥원의 해양환경공정시험방법(박용철, 1997)에서 제시하는 분류법에 따르면, 실트($4\mu\text{m} < d < 62\mu\text{m}$)와 점토($d < 4\mu\text{m}$)의 함량은 각각 약 38%, 15%임을 알 수 있다.

과거 타 지역 점착성 퇴적물의 입경분포 분석결과들 또한 그림 1에 주어진다. 그림에서 알 수 있듯이 새만금, 금강하구(Choi, 1981), Okeechobee호(Hwang, 1989) 퇴적물 각각의 평균입경은 52 μm , 54 μm , 15 μm 으로, 금강하구의 퇴적물은 새만금 퇴적물의 입경분포와 비슷한 분포를 보이며, Okeechobee호 퇴적물은 새만금 퇴적물보다 상당히 미세한 입경분포를 갖는다. 앞서 언급된 바와 같이 점토의 함량이 많을수록 평균입경이 작아지고, 점착성 효과는 커진다고 할 수 있으므로, 단지 입경 크기의 측면에서 볼 때 새만금 퇴적물의 점착성은 금강하구 퇴적물과 유사하며, Okeechobee호 퇴적물보다는 매우 작을 것으로 추정된다.

그림 1. 새만금과 타 지역 퇴적물의 입경분포 비교

3.2 유기물 함량

유기물 함량 실험은 국립수산진흥원의 해양환경공정 시험방법(박용철, 1997)에 따라 강열감량법으로 수행되었다. 강열감량법으로 산정된 새만금 퇴적물 지점 #3의 유기물 함량 분석결과는 과거 타 지역 퇴적물에 대한 분석결과와 함께 표 1에 주어진다.

새만금 해역 6개 지점 갯벌 퇴적물에 대한 과거 나영(2000)의 분석결과에 따르면, 새만금 해역 퇴적물의 유기물 함량은 지점별로 1~2%로 변화하는 것으로 나타났다는데, 이는 본 연구를 통하여 산정된 새만금 퇴적물의 유기물 함량 분석결과와 유사하다(표 1 참조). 한편, 표로부터 Okeechobee호 점착성 퇴적물이 새만금 퇴적물보다 약 20배나 더 큰 유기물 함량을 갖는 것이 매우 흥미롭다.

일반적으로 점착성 퇴적물 내의 유기물 함량은 퇴적물을 구성하는 토사입자의 크기가 작을수록 많은 경향이 있는데, 그것은 상대적으로 유기물이 점착될 수 있는 표면적이 넓어지기 때문이다(이재연, 2001). 따라서, 모래의 함량이 많을수록 유기물 함량은 적어지며, 점토의 함량이 많아질수록 유기물의 함량은 증가하는 경향

이 있다. 그림 1과 표 1로부터, Okeechobee호 퇴적물은 새만금 퇴적물 보다 약 20배나 더 많은 유기물을 함유하는 한편, 평균입경에서는 약 3.5배 작은 것을 알 수 있는데, 이것은 유기물 함량과 입경분포간의 일반적인 상관관계를 잘 나타내는 경우라고 할 수 있다.

3.3 광물질 구성

본 연구에서 광물질 구성 성분은 전북대학교 공동시험소가 보유하고 있는 RIGAKU사 D/MAX-III A 회절분석기(x-ray diffraction)를 이용하여 측정되었으며, 그 해석은 정성적으로만 분석되었다. 자원연구소의 지원 하에 수행된 x-ray diffractogram의 정성적 분석결과에 따르면, 새만금 점착성 퇴적물의 경우에 지배적 성분 순서로 석영(Quartz), 장석(Feldspal), 미사장석(Albite), 일라이트, 고령토, 녹니석 등이 포함되어 있는 것으로 나타났으며, 고령토와 녹니석은 거의 비슷한 함량을 갖는 것으로 해석되었다(표 2 참조).

과거 타 지역 점착성 퇴적물의 광물질 구성 성분에 대한 분석결과는 표 3과 4에 주어진다. 표 3에 나타난 바와 같이 금강하구 퇴적물의 경우에는 정량적 분석도 수행되었는데, 지배적 함량 순서로 일라이트 65.2%, 고

표 1. 새만금과 타 지역 퇴적물의 유기물 함량 비교

	유기물 함량(%)	비 고
새만금	2	지점 #3
Okeechobee호 (Hwang, 1989)	40	5개 지점 평균치
새만금 (나영, 2000)	1.2	6개 지점 평균치

표 2. 새만금 퇴적물의 광물질 구성

함량 순위	광물질 종류
1	석영(Quartz)
2	장석(Feldspal) 미사장석(Albite)
3	일라이트(Illite)
4	고령토(Kaolinite), 녹니석(Chlorite)

표 3. 금강하구 퇴적물의 광물질 구성(Choi, 1981)

광물질 종류	함량(%)
일라이트	65.2
녹니석	16.8
고령토	17.8
Smectite	0.5

표 4. Okeechobee호 퇴적물의 광물질 구성(Hwang, 1989)

함량 순위	광물질 종류
1	고령토
기타	Montmorillonite, Sepiolite, 석영(Quartz)

령토 17.8%, 녹니석 16.8%, 또한 Smectite가 0.5%로 나타났다(Choi, 1981). 이 결과는 석영 및 장석 등을 제외한 순수 광물성 점토만을 분석한 것으로서 새만금 퇴적물의 광물질 구성 분석에 대한 본 연구결과와 유사한 결과라 할 수 있다. 한편, 표 4의 Okeechobee호 점착성 퇴적물은 새만금과 금강하구 퇴적물의 경우와는 달리 고령토가 지배적인 광물질 구성 성분이며, 특히 점성이 아주 강한 Montmorillonite 및 Sepiolite 등이 포함되어 있는 것이 흥미롭다.

광물학적 구성 특성만을 고려할 때, 그 구성성분이 유사한 새만금과 금강하구 퇴적물은 점착성 또한 비슷한 크기일 것으로 여겨지며, 석영이 주성분인 새만금 퇴적물보다 고령토가 주성분인 Montmorillonite를 포함하고 있는 Okeechobee호 퇴적물이 더욱 강한 점성을 가질 것으로 추정된다.

4. 침강실험

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 황규남(2000)에 주어진다.

우선, 지점 #3에서 채취된 퇴적물 표본시료는 직경 74 μ m인 No.200 체로 wet sieving 방법으로 미세 토사 입자만 분리되었으며, 그 통과율은 58% 정도였다. 침강실험은 분리된 미세 토사입자에 대해서만 수행되었으며, 지점 #3 시료에 대해 총 7회의 침강실험이 수행되었다. 각 실험별 침강실험 조건은 표 5에 주어진다. 당초에 실험 #1~#5의 5회의 침강실험이 먼저 수행되어 그 결과는 황규남(2000)에 발표되었으며, 그 이후로 고농도 영역에서 보다 많은 침강속도 데이터를 얻기 위하여 실험 #6과 #7이 본 연구에서 추가적으로 수행되었다.

표에서 알 수 있듯이 각 실험별 수주 내 현탁액의

온도변화는 최대 1℃로서 실험 중의 온도 변화는 비교적 작았으나, 실험 전체로 볼 때에 현탁액의 온도는 24.5℃로부터 28.0℃까지 변화하였다. 이러한 크기의 온도 변화가 점착성 퇴적물의 침강속도에 미치는 영향은 그다지 크지 않은 것으로 알려지고 있다(황규남, 2000).

각 실험에서의 초기 부유사 농도 C_0 값 또한 표 5에 주어진다. 효율적인 실험결과, 즉 가능하면 적은 수의 실험으로 고루 분포된 부유사 농도 영역에서의 침강속도 데이터를 얻기 위하여 초기 부유사 농도는 실험별로 2.4g/L에서부터 69.0g/L까지 변화시켰다. 초기 부유사 농도는 침강수주 내에서 부유사의 농도가 전 수심에 대해 거의 균일하도록 충분히 잘 섞은 시점의 시간, 즉 시간 0에서의 부유사 농도를 나타낸다.

표 5. 각 실험별 침강실험 조건 (지점 #3)

Test No.	Temp. of Suspension(℃)	C_0 (g/L)
1	25.0 - 25.1	2.4
2	24.5 - 25.1	12.6
3	24.5 - 25.5	24.2
4	27.8 - 28.0	4.2
5	27.0 - 27.1	21.0
6	27.0 - 27.0	27.7
7	27.0 - 27.8	69.0

총 7회의 침강실험을 통하여 구한 지점 #3 시료에 대한 침강속도의 정량적 분석 결과는 접합곡선과 함께 그림 2에 주어진다. 데이터는 다소 분산되어 있기는 하나, 그림 2는 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 증가하는 응집침강 영역($1 < C < 16$ g/L)과, 역으로 침강속도가 감소하는 간섭침강 영역($16 < C < 60$ g/L)을 명확히 보여주고 있다. 데이터가 다소 분산되는 이유는 부유사 입자가 침강하는 과정에서 입자간의 충돌과 응집현상으로 인하여 침강속도에 있어 다소 시간적 오차가 발생하였던 까닭으로 여겨지며, 또한 초기에 균일한 농도분포를 얻기 위하여 수주 안에서 bubbler tube로 혼합하는 방법을 적용하였는데 이러한 실험과정에서도 다소 오차가 발생하였을 것으로 추정된

다.

응집침강 영역에서 부유사 입자는 농도가 증가함에 따라 입자 상호간의 충돌로 인한 입자간의 결합률이 향상되어 그 침강속도는 증가하게 되며, 간섭침강 영역에서는 고농도로 인한 격자망(network) 형태의 토사입자 덩어리들이 공극수(interstitial water)의 상승이동을 저지하여 침강속도는 감소한다(Kynch, 1952).

응집침강과 간섭침강 영역에서의 침강속도에 대한 전형적인 표현식은 Krone 식(1962)과 Kynch 식(1952)으로, 그 각각은 식(1)과 (2)에 주어진다.

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

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

여기서 α 와 β 는 각각 그림 2의 응집침강영역과 간섭침강영역에서의 곡선의 기울기를 나타내며, k_1 은 퇴적물의 구성성분과 흐름조건에 따라 변화하는 비례상수, W_{so} 는 최대침강속도, C_2 는 침강속도가 최대가 될 때의 부유사 농도를 나타낸다. 또한 비례상수 k_2 는 $W_s = 0$ 일 경우에 C_2 에 대한 상대 부유사 농도의 역수를 의미한다(Hwang, 1989). Krone 식과 Kynch 식에 대한 자세한 사항은 황규남(2000)에 주어진다. 그림에 보여 지듯이 새만금 지점 #3 퇴적물의 경우에 최소지수 접합법으로 구한 k_1 , k_2 , α , β , W_{so} , C_2 는 각각 0.019, 0.018, 1.23, 4.9, 0.57, 15.9인 것으로 나타났으며, 이때의 상관계수 R^2 는 응집침강영역과 간섭침강영역에서 각각 0.54와 0.63이다. 침강속도 W_s 와 부유사 농도 C

는 각각 mm/s와 g/L 단위로 주어진다.

5. 새만금 점착성 퇴적물과 타 지역 퇴적물의 침강특성 비교

새만금 퇴적물의 침강속도에 대한 본 실험결과와 과거 타 지역 점착성 퇴적물에 대한 실험결과와의 비교·검토를 통하여 개별 미세점착성 퇴적물의 침강특성의 지역적 변화에 대한 정성적 분석이 수행되었다. 본 연구를 통하여 도출된 새만금 지점 #3 퇴적물에 대한 침강 실험 결과와 함께 영국 Severn하구언(Mehta, 1986), 미국 Tampa만(Ross, 1988), 및 미국 Okeechobee호(Hwang, 1989) 점착성 퇴적물들에 대한 침강속도 실험 결과가 그림 3에 주어진다.

그림에서 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: $C < 2$ g/L)에서 새만금 퇴적물의 침강속도는 Tampa만 퇴적물의 침강속도보다 약 10배 정도 작으며, Okeechobee호와 Severn하구언 퇴적물보다는 약 20배나 작다. 한편, 중농도 구간($8 < C < 30$ g/L)에서는 새만금 퇴적물의 침강속도가 Tampa만 퇴적물의 속도보다 높았으며, Severn하구언 퇴적물보다는 계속해서 작은 값을 갖는다. 고농도 구간($C > 40$ g/L)인 경우에는 Okeechobee호 퇴적물이 가장 작은 침강속도 값을 가지며, 새만금 퇴적물의 침강속도는 그 다음으로 가장 작은 값을 갖는다. 또한 Severn하구언, Okeechobee호 및

그림 2. 새만금 해역 지점 #3 점착성 퇴적물의 침강속도 산정결과 및 접합곡선

그림 3. 타 지역 퇴적물 침강속도 곡선과의 비교

Tampa만 퇴적물의 경우에 최대침강속도는 부유사 농도 값이 약 2~3g/L일 때 발생하였으나, 새만금 퇴적물의 경우에는 약 16g/L의 부유사 농도 값에서 최대침강속도를 갖는다.

황규남(2000)에 의해 분석된 바와 같이 정량적인 측면에서의 침강속도 크기의 이러한 현저한 차이가 의미하는 바는 점착성 퇴적물의 경우에 그 침강특성은 퇴적물 자체의 물리·화학적 기본특성에 따라 지역적으로 크게 변화할 수 있다는 것이다. 이러한 사실은 타 지역 퇴적물의 침강속도 자료는 특정 지역에서의 점착성 퇴적물의 이동예측을 위한 수치모형실험을 위해 사용될 수 없다는 것을 나타내며, 침강속도 산출을 위한 현장 관측이나 실내실험이 각 조사대상 지역에서 반복적으로 수행되어야 한다*는 것을 의미한다.

6. 물리·화학적 특성이 침강속도 크기에 미치는 영향

본 연구에서는 침강속도 특성의 지역적 변화 원인에 대해 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성과 연계하여 정

성적으로 분석하고자 하였다. 퇴적물의 물리·화학적 기본특성과 침강속도 관측 결과를 함께 제시하는 과거의 연구사례는 불행히도 거의 없는 편이다. 앞서 새만금 퇴적물 침강속도의 정량적 비교·분석을 위해 인용된 Severn하구언, Tampa만 및 Okeechobee호의 퇴적물들 중에서 퇴적물의 물리·화학적 특성에 대한 분석결과를 포함하는 경우는 단지 Okeechobee호 퇴적물의 경우뿐이다. 따라서 본 연구에서는 새만금과 Okeechobee호 퇴적물간의 침강특성의 정량적 차이에 대해 각각의 퇴적물의 물리·화학적 특성과 연계하여 정성적 분석이 수행되었다.

새만금과 Okeechobee호 퇴적물의 물리·화학적 특성은 표 6에서 비교되며, 두 퇴적물의 침강속도 곡선은 그림 4에 주어진다. 표 6에서 보여지듯이 새만금 퇴적물은 Okeechobee호 퇴적물보다 평균입경에서 약 4배 정도가 크며, 반면에 유기물 함량에서는 Okeechobee호 보다 20배 정도가 작다. 한편, 광물질 구성성분을 살펴보면, 새만금 퇴적물은 석영이 주된 광물질로 구성되어 있으며, Okeechobee호 퇴적물은 고령토가 주된

표 6. 새만금과 Okeechobee호 퇴적물의 물리·화학적 특성

항목	새만금	Okeechobee호
평균입경	52 μ m	15 μ m
광물질 주성분	석영(Quartz)	고령토(Kaolinite)
유기물 함량	2%	40%

광물질 성분이다.

일반적으로 점착성 퇴적물은 평균입경이 작을수록, 그리고 유기물 함량이 클수록 점착력이 증가하는 경향이 있다. 또한 광물학적 측면에서 보면, 보편적으로 점착성 퇴적물에 많이 함유되어 있는 고령토, 일라이트, 녹니석 등의 광물성 점토보다 석영은 훨씬 작은 점착력을 갖는다. 따라서, Okeechobee호 퇴적물보다 상대적으로 평균입경이 크고 유기물함량이 작으며, 점착력이 비교적 작은 석영을 주성분으로 하는 새만금 퇴적물은 점착력에 의한 침강효과보다는 중력에 의한 침강효과가 Okeechobee호 퇴적물의 경우보다 상대적으로 더 클 것으로 판단된다.

이러한 해석은 응집침강 영역과 간섭침강 영역에서의 두 퇴적물의 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 점착력이 작고 중력의 효과가 큰 새만금 퇴적물은 Okeechobee호 퇴적물의 침강속도보다 작은 침강속도를 갖게 되었다고 해석할 수 있다(그림 4 참조). 반면에 고농도시에 토사 입자간의 응집효과가 침강속도를 감소시키는 간섭침강 영역에서는 점착력이 더 큰 Okeechobee호 퇴적물이 새만금 퇴적물보다 작은 침강속도를 갖는 결과가 초래되었다고 설명될 수 있다.

또한 황규남(2000)은 새만금 퇴적물의 농도단면도

분석시에 1) 농도 0.2g/L 까지도 부유토사의 침강에 의한 희석(thinning)이 계속되는 Okeechobee호 퇴적물과는 달리 새만금 퇴적물의 경우에는 저농도 구간인 1g/L에서 희석이 정지되는 현상과, 2) 고농도 구간에서 전형적으로 발생하는 lutocline의 인식이 어려우며 그 발생 높이가 Okeechobee호 퇴적물의 경우와 비교시 상당히 작은 현상을 2가지 특이 관측사항으로 제시하였는데, 이러한 현상은 앞서와 같이 '새만금 퇴적물은 점착력에 의한 침강효과보다는 중력에 의한 침강효과가 더 크다'는 사실로부터 일부 설명될 수 있다.

새만금 퇴적물의 경우에 부유사 농도가 1g/L 이하인 비교적 저농도 구간에서는 상대적으로 작은 점착력으로 인하여 입자간의 응집 발생빈도가 아주 작은 상태라고 할 수 있다. 즉, 새만금 퇴적물의 경우에 이 구간에서 응집침강보다는 침강속도가 매우 작은 자유침강이 지배적인 침강기구가 되며, 결과적으로 1g/L 이하의 농도에서 침강속도가 너무 작아 부유사의 침강을 인식하기가 쉽지 않았을 것으로 여겨진다. 한편, 고농도 구간에서는 응집효과보다 퇴적물 자체의 자중에 의한 중력 효과로 인하여 고농도층이 비교적 빨리 하강하게 되고, 간극수의 빠른 이탈로 인하여 lutocline의 발생 높이가 비교적 작아지는 결과로 나타났다고 할 수 있다.

7. 요약 및 결론

점착성 퇴적물의 침강특성은 입자간의 응집과 밀접한 관계가 있고, 응집 강도는 입경분포, 광물질 구성,

그림 4. 새만금과 Okeechobee호 퇴적물의 침강속도 곡선 비교

유기물 함량 등으로 묘사되는 퇴적물의 물리·화학적 기본특성에 따라 크게 좌우되므로, 본 연구에서는 이들 특성들을 파악하기 위한 실험이 수행되었으며, 이들 특성들과 연계하여 새만금 점착성 퇴적물의 침강특성이 분석되었다.

새만금 퇴적물의 물리·화학적 특성에 대한 실험분석 결과에 따르면, 새만금 퇴적물은 비교적 평균입경($52\ \mu\text{m}$)이 크고 유기물 함량(2%)이 작으며, 점착력이 비교적 작은 석영이 주된 광물질 구성성분으로 점착력에 의한 침강효과보다는 중력에 의한 침강이 더 큰 특성을 갖는 것으로 밝혀졌다. 따라서 이러한 특성으로 인하여, 유기물과 미세입자의 함량이 비교적 많아 점착력에 의한 침강효과가 큰 Okeechobee호 퇴적물과 비교할 때, 새만금 퇴적물은 응집효과가 침강속도를 증가시키는 응집침강 영역($1 < C < 2\text{g/L}$)에서 상대적으로 작은 침강속도를 가지며, 반면에 응집의 효과가 침강속도를 감소시키는 간섭침강 영역의 대부분($15 < C < 50\text{g/L}$)에서는 비교적 큰 침강속도를 갖는 것으로 나타났다.

또한 새만금 퇴적물과 같이 중력에 의한 침강효과가 큰 퇴적물의 경우에는 작은 점착력과 입자간 응집 발생 확률의 회소성으로 인하여 비교적 높은 부유사 농도(1g/L)에서도 회석의 정지현상이 발생하며, 고농도 구간에서 퇴적물 자체의 자중에 의한 중력효과로 인하여 고농도층이 비교적 빨리 하강하게 되어 비교적 작은 두께의 lutocline을 형성하는 특성을 갖는 것으로 밝혀졌다.

본 연구에서는 퇴적물 자체의 기본특성 분석시에 광물질 구성의 정량적 분석과 양이온 전도율 등에 대한 분석이 생략되어, 이에 대한 분석은 향후의 연구과제로 남겨진다. 또한 실제 현장에서 점착성 퇴적물의 침강특성은 해양에서의 흐름 난류(turbulence)에 의해 크게 영향을 받으므로, 이에 대한 분석 또한 필수적인 연구과제이다. 그러나 난류하에서의 침강속도 변화에 대한 해석은 난류 측정의 어려움뿐만 아니라 난류 자체가 갖는 복잡성으로 인하여 과거 다양한 방법을 통한 많은 시도에도 불구하고, 아직 구체적인 해석방법이 제시되지 못한 상태이므로 이 또한 향후의 연구과제로 남겨진다.

본 연구를 통하여 도출된 새만금 해역 갯벌 퇴적물의 침강속도에 대한 정량적 결과와 그 특성에 대한 정성적 분석 결과는 향후 새만금 해역에서의 퇴적물이동 예측을 위한 수치모형실험시에 참고자료로서 활용될 수 있을 것이다. 앞서 언급된 바와 같이 점착성 퇴적물의 침강특성은 "site-specific"한 특성을 가지므로, 황규남

(2000)에서 강조된 바와 같이 해당지역 퇴적물에 대한 침강속도의 측정 없이 단지 수치모형실험만을 통한 해석 및 예측은 무의미하다고 하겠다.

감사의 글

본 연구는 (주)대우건설의 2002년도 연구과제 '미세 점착성 퇴적물의 물리·화학적 특성이 침강특성에 미치는 영향 해석'의 지원으로 수행되었기에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 박용철 (1997). 해양환경공정시험방법. 한국해양학회, 국립수산진흥원.
2. 나영 (2000). 새만금 갯벌 내의 중금속 흡착특성에 관한 연구. 석사학위논문, 전북대학교.
3. 이재연 (2001). 새만금 해역 갯벌 퇴적물의 침강특성에 관한 연구. 석사학위논문, 전북대학교.
4. 황규남 (2000). "새만금 갯벌퇴적물의 침강속도 산정을 위한 실험적 연구." 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제20권, 2-B호, pp. 277-286.
5. ASTM (1987). *Annual Book of A.S.T.M. Standards*. Vol. 04.08, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
6. 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.
7. Choi, J.H. (1981). *Recent clay minerals in the Kunsan Estuary and the adjacent continental shelf*. Master's thesis, Dept. of Oceanography, Seoul National Univ.
8. Hwang, K.-N. (1989). *Erodibility of fine sediment in wave-dominated environments*. Master's thesis, Univ. of Florida, Gainesville, Florida.
9. 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.
10. Kynch, G.J. (1952). "A theory of sedimentation." *Transactions of the Faraday Society*, Vol. 48,

- pp. 166-176.
11. van Leussen, W. (1988). "Aggregation of particles, settling velocity of mud flocs - a review." *Physical Processes in Estuaries*, Edited by Dronkers J. and van Leussen, W., Springer-Verlag, Berlin, pp. 347-403.
 12. 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.
 13. Mehta, A.J. (1988). "Laboratory studies on cohesive sediment deposition and erosion." *Physical Processes in Estuaries*, Edited by Dronkers J. and van Leussen, W., Springer-Verlag, Berlin, pp. 427-445.
 14. Ross, M.A. (1988). *Cohesive sediments in estuarine environment*. Ph.D. dissertation, Univ. of Florida, Gainesville, FL.

(논문번호:02-19; 접수:2002.4.12/심사완료:2002.08.16)