

# 만경강 점착성 퇴적물의 침강특성에 관한 연구

## A Study on Settling Properties of Cohesive Sediments from Mangyeong River

양수현\*, 박을재\*\*, 정의택\*\*\*, 황규남\*\*\*\*

Su-Hyun Yang, Eul Jae Park, Eui-Taek Jung, Kyu-Nam Hwang

### 요 지

본 연구에서는 만경강 점착성 퇴적물의 표본채취 및 실내실험을 통하여 만경강 점착성 퇴적물의 침강특성이 정량적으로 산정되었으며, 과거 타 지역 퇴적물의 침강특성 산정 결과들과 비교·검토 되었다. 또한 퇴적물의 기본 물리·화학적 특성과 침강특성간의 상관관계 해석을 통하여, 만경강 점착성 퇴적물의 침강특성 결과의 타당성이 간접적으로 검토되었다. 침강실험 결과, 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 증가하는 응집침강 영역과, 역으로 침강속도가 감소하는 간접침강 영역이 명확히 나타났으며, 만경강 퇴적물의 부유사 농도값이  $0.1 < C < 80$  g/L에서  $0.01 < W_s < 1$  mm/sec의 침강속도 값을 갖는 것으로 확인되었다. 또한 산정된 침강속도는 과거 타 지역과 비교하여 정량적으로 상당한 차이를 보였다.

**핵심용어 : 미세 점착성 퇴적물, 침강특성, 물리·화학적 특성, 만경강**

### 1. 서 론

만경강은 길이 약 80.86km, 유역면적 약 1,504.35km<sup>2</sup>으로서, 그 발원지는 전라북도 완주군 원정산이며 2006년 4월에 새만금 끝마이 공사가 완료됨에 따라 강류(江流)는 새만금 내부수역으로 흘러든다. 만경강 하류부에는 미세 점착성 퇴적물이 널리 분포되어 있는데, 이러한 미세 퇴적물은 부유 혹은 용해상태의 여러 가지 독성을 가진 오염물질과 쉽게 결합하는 경향이 있어 수질 오염의 주 요인이 된다. 또한 토사입자의 침강속도가 매우 작아 작은 유동력에 의해서도 쉽게 멀리 이동될 수 있어 점착성 퇴적물 및 독성 오염물질의 이동에 의한 피해 가능 지역은 상당히 광범위하다고 할 수 있다(Hwang and Mehta, 1989).

미세 점착성 퇴적물의 침강특성은 사질성 퇴적물과는 달리 입자들간의 응집(Aggregation) 현상에 의해 크게 영향을 받으며, 그 응집률은 주로 입자간의 충돌빈도와 입자들이 지나는 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 점착성 퇴적물의 침강특성은 퇴적물 자체의 기본특성에 의해 큰 영향을 받는다고 할 수 있으며, 각 유역마다 하상 퇴적물은 퇴적물 공급원, 수동학적 조건, 생태학적 조건 등이 모두 다른 상태에서 형성된 퇴적층이므로, 하상 퇴적물의 기본특성은 현장특성(Site-specific)에 현저하게 의존하게 된다. 즉, 퇴적물 자체의 특성에 따라 그 침강특성은 다르며, 이러한 "Site-specific"한 특성으로 인하여 점착성 퇴적물의 침강속도에 대한 이론적 해는 현재 없으며 현장이나 실내 실험을 통하여 측정하는 것이 최선이다.

따라서, 본 연구에서는 침강수주를 이용한 실내 침강실험을 통하여, 만경강 점착성 퇴적물의 침강특성이

\* 정회원·전북대학교 토목공학과 박사과정E-mail : suhyun@chonbuk.ac.kr  
\*\* 비회원·대우건설 소장E-mail : peuljaepe@naver.com  
\*\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원개발팀 팀장E-mail : jet@kwater.or.kr  
\*\*\*\* 정회원·전북대학교 토목공학과 교수·공업기술연구소장E-mail : khwang@chonbuk.ac.kr

정량적으로 산정되었다. 또한, 과거 타 지역 퇴적물의 침강특성 결과와 비교하여, 퇴적물의 물리·화학적 특성과 침강특성간의 정성적 상관관계 해석을 통한 만경강 점착성 퇴적물의 침강특성 산정결과와 타당성이 간접적으로 검토되었다. 본 연구를 통하여 도출된 만경강 점착성 퇴적물의 침강특성에 대한 정량적·정성적 결과들은 향후에 만경강 수역에서의 수질 및 표층퇴적물 이송에 대한 수치모형 프로그램 시 요구되는 입력 자료로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 수역 내 오염에 대한 대책 방안 수립 및 침강(혹은 퇴적)에 따른 하상변동 해석 등 다양한 목적으로 크게 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 현장 표본 채취

만경강 하상 점착성 퇴적물의 물리·화학적 특성 및 침강속도 산정을 위한 퇴적물 표본시료는 2007년 10월 8일 1개 정점에서 채취되었다. 표본시료는 채취기(Grab sampler)를 이용하여 채취되었으며, 현장 하천수의 조건을 반영하기 위하여 동일 정점에서 하천수가 채취되어 침강실험의 전 과정에서 사용되었다. 퇴적물 표본시료의 채취위치 및 경위도 좌표는 그림 1 및 표 1에 주어진다.

표 1. 표본채취 일시 및 경위도 좌표

Site No.	일 자	N	E
#1	2007.10.8	35° 54'25.4"	126° 49'49.6"



그림 1. 표본시료 채취위치

## 3. 물리·화학적 특성

본 연구에서는 만경강 유역 1개 지점에서 채취된 표본시료에 대해 침강실험에 앞서 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성조사를 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

본 연구에서 입경분포는 체분석과 비중계법을 병행하여 분석되었다. 우선 채취된 퇴적물 표본시료는 No.200번 체( $\phi=75\mu\text{m}$ )를 기준으로 Wet-sieving 방법으로 시료를 분리하여 No.200번 체를 통과한 시료에 대해서는 비중계 실험을 수행하고 체에 남은 시료에 대해서는 체 분석을 수행하였다. 비중계 실험은 ASTM(1987)이 제시한 방법에 따라 수행되었다. 본 연구에서 입경분포 실험은 시료 전처리 과정을 통하여 순수 토사만으로 구성된 시료에 대해 수행되었으며, 그 결과는 타 지역 퇴적물의 입경분포 결과와 함께 그림 2에 주어진다.

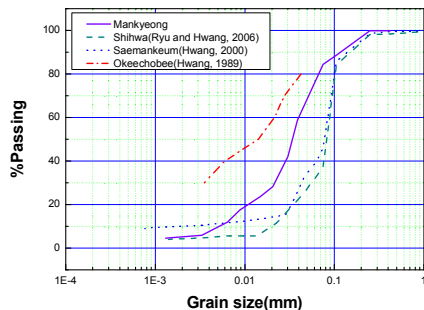


그림 2. 퇴적물의 입경분포 비교

### 3.2 유기물 함량

본 연구에서 만경강 하상 퇴적물의 유기물 함량은 해양환경공정시험방법(국립수산진흥원, 1997)에 따라 강열감량법으로 분석되었다. 만경강 하상 퇴적물에 대해 산정된 유기물 함량은 새만금호(황규남, 2000), 시화호(류홍렬·황규남, 2006) 및 Okeechobee호(Hwang and Mehta, 1989) 퇴적물의 유기물 함량과 함께 표 2에 주어진다.

**표 2. 만경강과 타 지역 미세-점착성 퇴적물의 유기물 함량 비교**

Site	유기물 함량(%)
만경강	3
새만금호	2
시화호	6
Okeechobee호	40

**표 3. 만경강 점착성 퇴적물의 광물질 구성**

함량순위	광물질 종류
1	석영(Quartz)
2	일라이트(illite)
3	미사장석(Albite)
4	고령토(Kaolinite) 녹니석(Chlorite)

### 3.3 광물질 구성성분

채취된 퇴적물 표본시료에 대한 광물질 구성성분 분석은 전북대학교 공동 시험소가 보유하고 있는 회절분석기(x-ray diffraction)를 이용하여 수행되었다. 본 연구에서는 광물질 구성성분의 정량적인 분석은 수행되지 않고 단지 정성적인 분석만이 수행되었으며, 실험을 통하여 도출된 만경강 점착성 퇴적물의 광물질 구성성분은 표 3에 주어진다.

### 4. 침강실험

본 연구에서는 만경강 퇴적물에 대한 침강실험을 위하여 특수 제작된 침강수주를 사용하였으며 침강수주의 제원 및 특성과 침강실험에 대한 자세한 사항은 서영덕 등(2008)에 주어진다. 침강실험은 1개 정점에서 채취된 퇴적물 시료에 대하여 총 5회의 실험이 수행되었으며, 본 연구의 목적은 점착성 퇴적물의 침강특성 조사이므로, 채취된 시료를 No.200체를 이용하여 Set-sieving방법으로 분리된 미세 토사 입자들만이 침강실험에 사용되었다. 각 실험에서의 초기 부유사 농도  $C_0$  값은 1.4g/L에서부터 27.3g/L까지 변화되었으며, 초기농도는 부유사의 농도가 전 수심에 대해 거의 균일하도록 충분히 잘 섞은 그 즉시의 시간, 즉 시간 0에서의 부유사 농도를 나타낸다.

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

그림 3은 데이터가 다소 분산되어 있기는 하나 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 증가하는 응집침강 영역( $0.1 < C < 2.83 \text{g/L}$ )과 역으로 침강속도가 감소하는 간접침강 영역( $2.83 < C < 80 \text{g/L}$ )을 명확히 보여주고 있다. 접합곡선(fitted line) 주위에서 데이터가 다소 분산되는 이유는 침강 과정 중에 입자간의 충돌(collision)과 응집(flocculation)현상의 발생으로 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.

본 연구에서는 침강속도 특성의 지역적 변화 원인에 대해서 퇴적물 자체의 물리·화학적 특성과 연계하여 정성적으로 분석하였다. 만경강과 시화호 및 새만금호, 그리고 Okeechobee호 퇴적물의 물리·화학적 특성 비교는 표 4에 주어지며 4개 지역 퇴적물의 침강속도 곡선은 그림 4에서 비교된다.

표 4. 만경강, 시화호, 새만금호, Okeechobee호 퇴적물의 물리·화학적 특성비교

특성 항목	만경강	시화호	새만금호	Okeechobee호
평균입경(μm)	38	74	52	15
광물질 주성분	석영	석영	석영	고령토
유기물 함량(%)	3	6	2	40

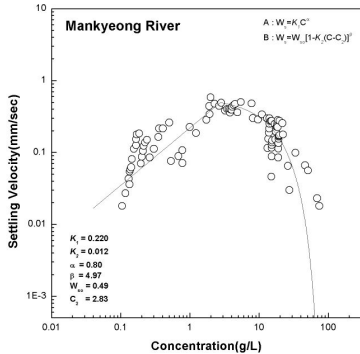


그림 3. 만경강 퇴적물의 침강속도 산정결과 및 접합곡선

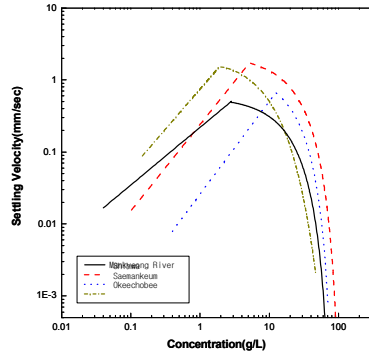


그림 4. 만경강, 시화호, 새만금 호 및 Okeechobee호 미세-점착성 퇴적물의 침강속도 곡선 비교

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 Okeechobee호 퇴적물보다 상대적으로 평균입경이 크고 유기물함량이 작으며, 점착력이 비교적 작은 석영을 주성분으로 하는 만경강 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 만경강 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 만경강 퇴적물보다 작은 침강속도를 갖는 결과가 초래되었다고 설명될 수 있다.

그림 4를 보면 만경강 퇴적물의 침강속도는 응집침강 영역에서는 새만금호 퇴적물보다는 크고, Okeechobee호 퇴적물의 침강 속도보다는 작은 값을 가지다가, 간섭침강영역의 초기부분에서부터 Okeechobee호 퇴적물의 침강속도보다 크게 나타났다. 부유사 농도가 40g/L이상인 고농도 영역에서는 새만금호, 시화호보다는 작은값을 나타냈다. 이러한 결과는 물리·화학적 특성중 평균입경에서 새만금호 및 시화호보다는 작으며, Okeechobee호 퇴적물보다 크므로, 이론적으로 타당한 결과라 할 수 있다. 유기물 함량 및 광물질 구성 성분에서는 만경강과 시화호 및 새만금호 퇴적물의 유기물 함량과 광물질 주요 구성 성분이 거의 동일한 것으로 비추어, 물리·화학적 특성중 입경분포가 침강속도에 미치는 영향이 유기물 함량과 광물질 구성성분보

다는 더 큰 것으로 보여진다.

## 5. 결론

본 연구에서는 만경강 퇴적물의 침강특성을 정량적으로 산정하기 위하여 침강수주를 이용한 실내실험이 수행되었다. 1개 정점에 대하여 총 6회의 침강실험이 수행되어 각 실험별로 농도단면도가 작성되었으며, Ross(1988)가 개발한 수치모형을 통하여 부유사 농도별 침강속도 값들이 산정되었다. 만경강 퇴적물에 대한 침강속도 산정결과는 부유사 농도가 증가함에 따라 침강속도가 증가하는 응집침강 영역( $0.1 < C < 2.83 \text{g/L}$ )과 역으로 침강속도가 감소하는 간섭침강 영역( $2.83 < C < 80 \text{g/L}$ )이 명확히 나타남을 보여주었다. 침강속도는 모든 퇴적물 시료에 대해 부유사 농도값이  $0.1 < C < 80 \text{g/L}$ 에서  $0.01 < W_s < 1 \text{mm/sec}$ 사이의 침강속도 값을 갖는 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 도출된 만경강 점착성 퇴적물의 침강특성 매개변수의 정량적 결과는 향후 수질 및 표층퇴적물 이송에 대한 수치모형 프로그램 사용시에 요구되는 침강 특성 입력자료로 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 감 사 의 글

본 연구는 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 류홍렬, 황규남 (2006). "시화호 점착성 퇴적물의 침강·침식 특성 매개변수 산정에 대한 실험적 연구", 한국해양학회지, 제18권, 제3호, pp 179-188.
2. 박용철 (1997). 해양환경공정시험방법, 한국해양학회, 국립수산진흥원.
3. 서영탁·진재을·황규남 (2008). "한강 하구역 점착성 퇴적물 침강속도의 지엽적/공간적 변화", 한국해양 공학회지, 제22권, 제1호, pp 37-45.
4. 황규남 (2000). "새만금 갯벌퇴적물의 침강속도 산정을 위한 실험적 연구, 대한토목학회논문집", 제20권, 제2-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. 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.
7. Mehta, A.J. (1986). "Characterization of cohesive sediment properties and transport processes in estuaries." Estuarine Cohesive Sediement Dynamics, Edited by Mehta, A.J., Springer-Verlag, Berlin, pp 290-325.
8. Ross, M.A. (1988). Cohesive sediments in estuarine environment. Ph.D. dissertation, Univ. of Florida, Gainesville, FL.