

준 폐만 점착성 퇴적물의 퇴적매개변수 산정에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on Depositional Parameters of Cohesive Sediments in Semi-closed Bay

정의택* · 김용묵** · 김동호*** · 황규남****

Eui-Taek Jung*, Yong Muk Kim**, Dong Ho Kim*** and Kyu-Nam Hwang****

요 지 : 본 연구에서는 환형수조를 이용한 일련의 퇴적실험을 수행하여, 국내 최초로 자연 점착성 퇴적물 시료에 대한 퇴적 매개변수가 정량적으로 산정되었다. 퇴적실험을 위해 광양만이 대표 해역으로 선정되어 시료가 채취되었으며, 퇴적실험은 초기농도가 동일한 조건에서 바닥전단응력의 크기만을 변화시키면서 총 18회의 실험이 수행되었다. 퇴적실험결과, 광양만 갯벌 점착성 퇴적물의 최소전단응력 τ_{bmin} 과 퇴적물 매개변수들 σ_1 , $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 은 각각 0.11 N/m², 0.68, 0.85로 산정되었으며, 과거 타 연구결과와의 비교검토를 통하여 본 실험에서 도출된 결과의 타당성이 입증되었다.

핵심용어 : 점착성 퇴적물, 최소전단응력, 평형농도, 퇴적률, 준 폐만

Abstract : In this study, a series of deposition tests have been performed using an annular flume and depositional parameters of natural cohesive sediments have been estimated domestically for the first time. The natural cohesive sediments for deposition tests have been collected from Kwangyang Bay and total 18 deposition tests have been carried out on different bed shear stress respectively but with the same initial concentration. Test results for natural cohesive sediments of Kwangyang bay show that minimum bed shear stress τ_{bmin} , standard deviation σ_1 , and time scale parameter $(\tau_b^* - 1)_{50}$ are 0.11 N/m², 0.68 and 0.85, respectively. Through the comparison with results of previous studies for other sediments, the results of this study are shown to be good enough to verify.

Keywords : cohesive sediments, minimum shear stress, equilibrium concentration, deposition rate, semi-closed bay

1. 서 론

최근 황·양(2007)은 황 등(2008)에 의해 검증된 환형수조를 이용하여 수돗물 조건에서의 고령토 점착성 부유토사에 대한 퇴적실험을 수행하였으며, 과거 타 연구결과와의 비교분석을 통하여 퇴적실험 결과 및 실험장치의 타당성을 검증한 바 있다. 이후 황 등(2008)은 자연 상태의 점착성 퇴적물은 일정 염도를 갖는다는 점을 고려하여 염수조건에서의 고령토 점착성 부유토사의 최소전단응력(또는 퇴적한계 전단응력)을 산정하고, 또한 초기농도에 따른 퇴적특성의 변화를 해석하였다. 그러나 이들 연구는 단지 상업용 고령토 시료를 이용하여 수행된 것으로서, 자연 상태의 점착성 부유토사에 대한 퇴적실험은 구체적으로 수행된 바 없다.

이에 본 연구에서는 국내 최초로 자연 점착성 부유토사에 대한 퇴적실험이 수행되었다. 퇴적실험 장치로는 황·양(2007)

의 퇴적실험을 통하여 그 타당성이 검증된 전북대 환형수조가 이용되었으며, 퇴적실험을 위한 자연 퇴적물 시료는 최근 컨테이너 부두 및 국가산업단지 조성 등의 대규모 개발이 활발히 수행되고 있는 광양만에서 채취되었다. 광양만은 계속적인 대규모 개발로 인하여 그 수면적이 상당히 축소된 상태로 해수유동 체계의 변화에 크게 노출되어 있다고 할 수 있으며, 또한 준 폐만(semi-closed bay)의 지형적 특성으로 인해 퇴적 가능성이 매우 높은 해역이라 할 수 있다.

광양만 점착성 부유토사에 대한 퇴적 매개변수의 정량적 산출을 위하여, 주어진 바닥전단응력 하에서 수층 부유사 농도 변화의 시간적 변화가 측정되고 이로부터 수층 부유사의 퇴적률이 산정되었으며, 퇴적률과 흐름에 의한 바닥전단응력간의 관계로부터 광양만 점착성 부유토사의 최소전단응력(τ_{bmin}) 즉, 퇴적한계 전단응력이 정량적으로 산정되고 평형농도 산정식과 퇴적률 공식이 도출되었다. 마지막으로 과거 타 연구

* 한국수자원공사 (Kwater, Incheon 404-300, Korea)

** 대산지방해양항만청 (Daesan Regional Maritime Affairs and Port Office, Seosan 356-870, Korea)

*** 전북대학교 토목공학과 (Dept. of Civil Eng., Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea)

**** 전북대학교 토목공학과 (Corresponding author : Kyu-Nam Hwang, Dept. of Civil Eng., Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea. khwang@jbnu.ac.kr)

Table 1. Basic information of sampling site and sea water used as an eroding fluid

Sampling date	Coordinate	Depth (m)	pH	Observation depth	Temperature(°C)	Salinity(‰)
2005. 04. 13.	34° 52' 65.05" N 127° 41' 15.70" E	8.0 m	7.96	upper layer(H _{2/10})	14.1	32.1
				middle layer(H _{6/10})	14.1	32.3
				lower layer(H _{8/10})	14.1	32.2
				depth-average	14.1	32.2

결과와의 비교검토를 통하여 본 연구결과의 타당성이 검증되었다.

2. 현장 퇴적물 표본시료 채취

광양만은 국가산업단지 조성 및 컨테이너 부두 등의 인위적인 대규모 개발이 활발히 진행되고 있고, 외해로의 해수유출이 제한적인 준 폐만의 지형적인 특성을 지니고 있으며, 또한 섬진강, 수어천 및 동천 등의 하천으로부터 다량의 토사가 유입되고 있어 만 내부의 퇴적가능성이 매우 높은 해역이다. 따라서, 이러한 점을 고려하여, 본 연구의 대상 지역으로 광양만이 채택되었다.

광양만 점착성 부유토사의 퇴적특성 분석을 위한 퇴적물 표본시료는 2005년 4월 13일에 1개 지점에서 채취기로 채취되었다. 또한 현장 해수의 조건을 반영하기 위하여 동일 정점에서 해수가 채취되었으며, 채취된 해수는 퇴적실험의 전 과정에서 사용되었다. 광양만 퇴적물 표본시료 채취위치의 경위도 좌표와 채취당시의 pH 및 관측수심에 따른 수온, 염도는 Table 1에 주어진다.

3. 광양만 점착성 부유토사의 물리화학적 특성

미세 점착성 부유토사의 퇴적특성은 사질성 퇴적물과는 달리 입자간의 응집현상에 의해 크게 영향을 받으며, 입자간의 응집을 지배하는 주요 인자인 점착력은 입경분포, 광물질 구성, 유기물 함량 등으로 묘사되는 퇴적물 자체의 물리화학적 기본 특성에 따라 크게 변화한다(Mehta, 1986). 이에 본 연구에서는 광양만 점착성 부유토사의 물리화학적 특성 조사를 위하여 입경분포, 광물질 구성 및 유기물 함량의 3가지 항목에 대한 조사분석이 수행되었다.

3.1 입경분포

광양만 점착성 부유토사의 입경분포는 체 분석과 비중계 분석법을 병행하여 수행되었다. 우선, 현장에서 채취된 퇴적물 표본시료는 No. 200체($\phi = 75 \mu\text{m}$)를 기준으로 wet-sieving 방법으로 분리되었으며, No. 200체를 통과한 시료에 대해서는 비중계 분석이 수행되었고, 체에 남은 시료에 대해서는 체 분석이 수행되었다. 한편, 비중계 실험은 ASTM(1987)이 제시한 방법에 따라 수행되었으며, 입경분포 분석에 대한 자세한 사항은 황 등(2002)에 주어진다. 본 연구에서 도출된 입

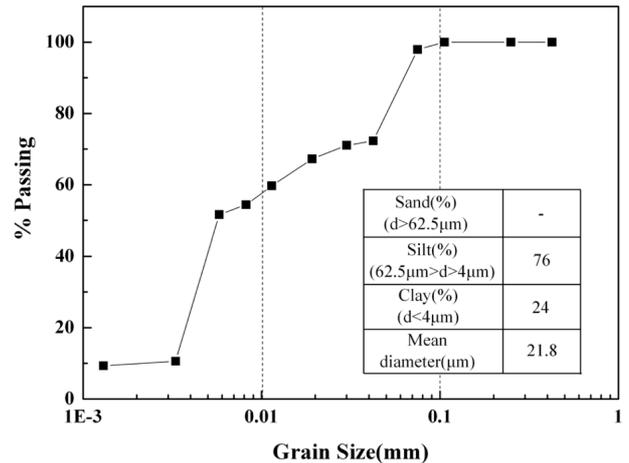


Fig. 1. Grain size distribution of cohesive sediments in Kwangyang bay

Table 2. Components of mineral materials and organic content of muddy cohesive sediments in Kwangyang bay

components of mineral materials		Organic content(%)
1	Quartz	2
2	Albite	
3	Illite	
4	Kaolinite, Chlorite	

경분포 측정 결과는 Fig. 1에 주어지는데, 광양만에서 채취된 퇴적물 표본시료는 세립질인 실트와 점토로 구성되어 있으며, 평균입경이 $21.8 \mu\text{m}$ 인 것으로 나타났다.

3.2 광물질 구성

광양만 자연 점착성 부유토사의 표본시료에 대한 광물질 구성 성분 분석은 전북대학교 공동시험소가 보유하고 있는 회절분석기(X-ray diffraction)를 이용하여 분석이 수행되었다. 본 연구에서는 광물질 구성성분의 정량적인 분석은 수행되지 않고, 단지 정성적인 분석만이 수행되었으며, 그 결과는 Table 2에 주어진다. 표에 주어진 바와 같이, 광양만 점착성 부유토사의 광물질 구성성분은 내림차순으로 석영, 미사장석, 일라이트, 고령토, 녹니석 등이 지배적인 성분인 것으로 나타났다.

3.3 유기물 함량

본 연구에서 광양만 점착성 부유토사의 유기물 함량은 해양환경공정시험방법(국립수산진흥원, 1997)에 따른 강열감량법에 의해 분석되었다. 실험결과는 Table 2에 주어지는데, 광

양만 점착성 부유토사의 유기물 함량은 2%로서 그 함량은 미미한 것으로 나타났다.

4. 퇴적실험 방법 및 조건

본 연구에서 퇴적실험은 전북대 환형수조를 이용하여 수행되었으며, 전체적인 실험 과정은 Mehta and Partheniades (1975)가 채택한 방법에 따라 진행되었다. 퇴적실험은 각 실험별 미리 설정된 바닥전단응력 하에서 보통 24시간동안 지속되었으나, 그 지속시간은 가해지는 바닥전단응력의 크기에 따라 변화되었다. 비교적 작은 바닥전단응력 하에서 퇴적실험은 약 48시간 동안 지속되었으며, 비교적 큰 바닥전단응력 하에서는 약 12시간 동안 지속되었다. 퇴적실험 수행에 이용된 환형수조의 특성 및 퇴적실험 방법에 대한 보다 자세한 설명은 황·양(2007) 및 황 등(2005)에 주어진다.

본 연구에서 퇴적실험은 광양만에서 채취된 자연 점착성 시료를 이용하여 바닥전단응력의 크기를 변화시켜가며 총 18회 수행되었으며, 퇴적물이 채취된 정점과 동일정점에서 채취된 해수를 사용하여 탁수를 제작하여 사용하였다. 모든 퇴적실험에서 수층의 깊이와 탁수의 농도는 각각 10 cm와 1000 ppm으로 동일하였으며, 각 실험별 자세한 퇴적실험 조건은 Table 3에 주어진다.

5. 실험결과

5.1 수층부유사의 퇴적거동에 미치는 바닥전단응력의 영향

본 연구에서는 퇴적특성에 미치는 바닥전단응력의 영향을

Table 3. Experimental conditions

Test No.	Initial concentration (ppm)	Shear stress (N/m ²)	Temp (°C)	Exp. time (hr)
N1	935	0.000	19-20	24.0
N2	985	0.080	18-19	23.3
N3	910	0.100	21-22	27.0
N4	1100	0.110	19-20	25.3
N5	1055	0.120	20-21	42.8
N6	1058	0.125	19-20	43.2
N7	875	0.140	21-22	24.3
N8	1070	0.150	18-19	48.0
N9	1055	0.175	17-18	20.5
N10	1005	0.180	18-19	21.3
N11	930	0.200	15-16	19.0
N12	1020	0.225	18-19	18.0
N13	810	0.250	18-19	18.0
N14	985	0.300	21-22	11.7
N15	940	0.400	21-22	20.7
N16	945	0.500	22-23	22.5
N17	995	0.650	21-22	18.6
N18	1140	0.800	19-20	18.0

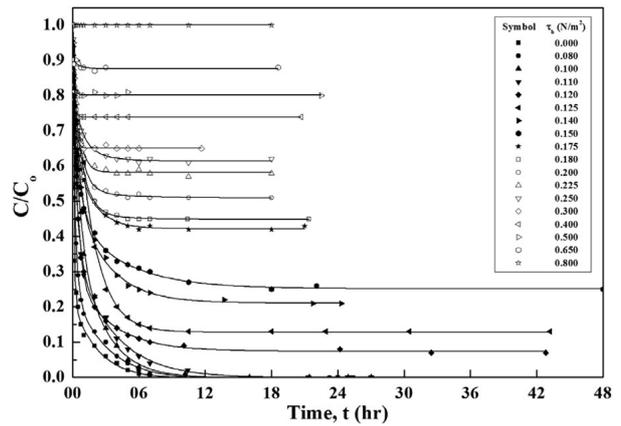


Fig. 2. Comparison of variation of C/C_0

분석하기 위하여, 각 실험별로 바닥전단응력의 크기를 변화시키면서 퇴적실험이 수행되었다. 탁수농도 1000 ppm 조건에서 수행된 총 18회의 퇴적실험에 대하여 각 바닥전단응력별 상대농도 변화도가 작성되었으며, 그 결과는 Fig. 2에 주어진다. 퇴적거동에 미치는 바닥전단응력의 영향과 관련하여 Fig. 2는 2가지 중요한 결과를 제시하고 있다. 첫째는 $\tau_b > \tau_{bmin}$ 조건에서 농도 C 는 명백히 평형농도 C_{eq} 에 도달하게 되고, $\tau_b < \tau_{bmin}$ 조건에서는 모든 수층 부유사는 궁극적으로 퇴적하게 된다는 것이며, 둘째는 τ_b 가 커질수록 C_{eq} 의 값이 커진다는 것이다. Fig. 2를 자세히 살펴보면, 일정 바닥전단응력 이상에서는 수층 부유사 농도 C 가 항상 C_{eq} 에 도달하고, τ_b 가 커질수록 C_{eq} 또한 커지고 있는 반면, 그 이하에서는 수층 부유사 농도 C 가 C_{eq} 에 도달하지 못하고 계속적으로 감소하여 일정시간 이후에는 전부 퇴적됨을 알 수 있다.

5.2 최소전단응력(τ_{bmin})의 산정 및 검토

최소전단응력 τ_{bmin} 은 평형농도의 발생여부를 나타내는 지표이며, 퇴적발생 유무를 나타내는 바닥전단응력의 한계값으로 정의된다(Mehta and Partheniades, 1975). 따라서, τ_{bmin} 을 기준으로 가해진 바닥전단응력의 크기에 따라 퇴적특성이 달라지므로, 최소전단응력의 정량적인 산정은 필수적인 사항이라 하겠다.

본 연구에서 최소전단응력 값은 Mehta and Partheniades (1975), 황·양(2007)에 의해 제시된 방법에 따라 산정되었다. 우선, 앞서 주어진 Fig. 5로부터 각 실험별로 평형농도

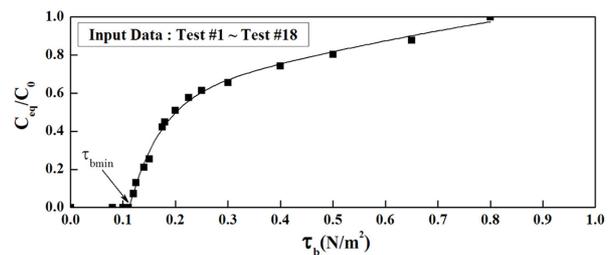


Fig. 3. Minimum shear stress(τ_{bmin}) and variation of C_{eq}/C_0 with bed shear stress

Table 4. Experimental conditions and results in the previous studies

Researcher	Sediments	Fluid	t_{bmin} (N/m ²)	Etc.
Rosillon & Volkenborn(1964)	Maracaibo Estuary mud	salt water	0.075	straight flume
Partheniades (1965)	San Francisco Bay mud	salt water	0.065	straight flume
Partheniades et al.(1968)	Kaolinite	distill water	0.040	annular flume
	Kaolinite	distill water	0.180	
Mehta & Partheniades (1975)	50% Kaolinite & 50% Bay mud	salt water	0.150	annular flume
	San Francisco Bay mud	salt water	0.119	
황 · 양(2007)	Kaolinite	tap water	0.175	annular flume
황 등(2008)	Kaolinite	salt water	0.147	annular flume
This Study	Kwangyang Bay mud	salt water	0.110	annular flume

의 존재 유무가 파악되었으며, 이로부터 바닥전단응력별 C_{eq}/C_0 데이터가 산정되었다. 이들 데이터로부터 최소자승접합법에 의한 접합곡선이 도출되었으며, 그 결과는 Fig. 3에 제시된다. 최소전단응력은 접합곡선이 바닥전단응력의 크기를 나타내는 횡좌표와 교차하는 점에서의 바닥전단응력 값으로, 본 연구를 통하여 산정된 광양만 점착성 부유토사의 최소전단응력은 0.11 N/m²인 것으로 나타났다.

한편, 본 연구를 통하여 산정된 광양만 점착성 부유토사의 최소전단응력 값에 대한 타당성 검증을 위하여 과거 타 연구 결과와의 비교검토가 이루어졌으며, 각 연구별 실험조건 및 최소전단응력 값이 Table 4에 요약되어 주어진다.

Table 4에 제시된 결과를 살펴보면, 동일한 염수조건에서 퇴적물이 채취된 지역에 따라 최소전단응력 값이 현저하게 변화함을 알 수 있다. 한 예로 San Francisco만 점착성 부유토사의 최소전단응력 값은 0.065 N/m²인데, 이는 본 연구의 광양만 점착성 부유토사에 비하여 최소전단응력 값이 약 40% 작은 값이다. 이와 같이 각 지역별 최소전단응력 값이 정량적으로 큰 차이를 보이는 것은 퇴적물 자체의 물리화학적 특성의 지역적 차이에서 비롯된 것으로 추정되는데, 이는 점착성 부유토사의 최소전단응력 값이 “site-specific”한 특성을 갖는다는 것을 의미한다. 이러한 사실은 점착성 부유토사의 퇴적특성이 현장특성에 현저하게 의존하므로, 퇴적특성 매개변수 산정을 위한 현장관측이나 실내실험이 각 조사대상 지역에서 반복적으로 수행되어야 한다는 것을 의미한다.

5.3 평형농도 산정공식의 결정 및 검토

Mehta and Partheniades(1975)는 바닥전단응력 τ_b 가 최소전단응력 τ_{bmin} 보다 큰 경우에 수층 부유사 농도 C 는 명백히 평형농도 C_{eq} 에 도달하게 되고, τ_b 가 커질수록 τ_{bmin} 또한 증가한다는 사실에 근거하여 τ_b 의 함수로 주어지는 다음과 같은 평형농도 산정식을 제시하였다.

$$C_{eq}^* = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y_a} e^{-w^2/2} dw \tag{1}$$

$$y_a = \frac{1}{\sigma_1} \log[(\tau_b^* - 1)/(\tau_b^* - 1)_{50}] \tag{2}$$

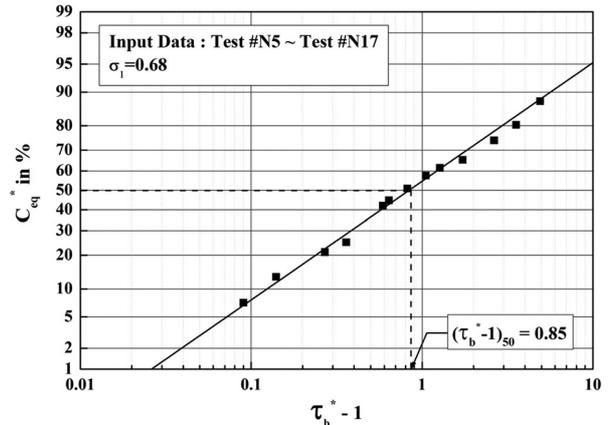


Fig. 4. Variation of C_{eq}^* with $(\tau_b^* - 1)$.

여기서 C_{eq}^* 와 τ_b^* 는 각각 상대평형농도와 상대바닥전단응력을 나타내며, 그 각각은 $C_{eq}^* = C_{eq}/C_0$, $\tau_b^* = \tau_b/\tau_{bmin}$ 으로 정의된다. 또한 σ_1 은 표준편차이고, w 는 가상변수(dummy variable)이며, $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 은 기하평균값(geometric mean)으로 C_{eq}^* 가 50%일 때의 $(\tau_b^* - 1)$ 값을 나타낸다. 각 매개변수들의 물리적 의미에 대한 보다 자세한 설명은 Mehta and Partheniades (1975)에 주어진다.

우선, 광양만 점착성 부유토사에 대한 퇴적실험 결과로부터 우선적으로 $(\tau_b^* - 1)$ 과 C_{eq}^* 의 상관관계를 분석하여 식 (1)과 (2)의 타당성을 조사하였다. 각 실험별 바닥전단응력 값들에 광양만 점착성 부유토사의 최소바닥전단응력 값을 적용하여 각각의 $(\tau_b^* - 1)$ 값을 산정하고, 각각에 대응하는 C_{eq}^* 값을 취하여 $(\tau_b^* - 1)$ vs. C_{eq}^* 데이터가 도출되었으며, 그 결과는 최적 접합곡선과 함께 누적로그-정규분포 좌표상에 도식되어 Fig. 4에 주어진다.

누적로그-정규분포 함수는 누적로그-정규분포 좌표상에서 직선으로 나타나는데, Fig. 4은 이러한 특성을 잘 나타내고 있다. 즉, C_{eq}^* 가 $(\tau_b^* - 1)$ 의 함수이며, 누적로그-정규분포 함수에 의해 잘 표현될 수 있음을 보여준다. 따라서, Fig. 4는 Mehta and Partheniades(1975)에 의해 제시된 식 (1)이 매우 타당성 있는 상대평형농도 산정식임을 입증하는 결과이다.

한편, Fig. 4에 주어진 측정데이터에 식 (1)의 누적로그-정규분포 함수를 최소자승 접합법으로 접합시켜 매개변수 σ_1 과

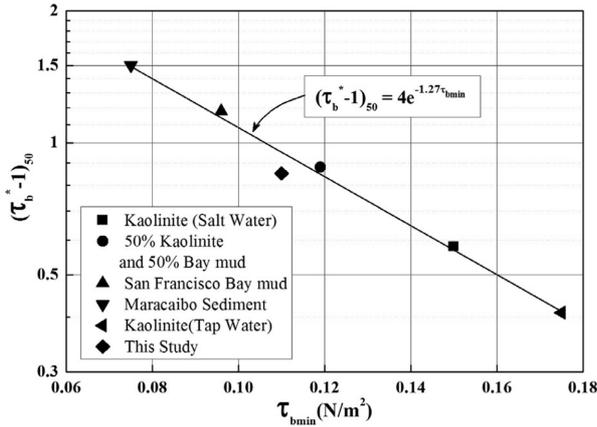


Fig. 5. Variation of $(\tau_b^* - 1)_{50}$ with τ_{bmin} .

$(\tau_b^* - 1)_{50}$ 이 각각 0.68과 0.85로 산정되었으며, 산정된 두 매개변수 σ_1 과 $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 에 대한 타당성 검증을 위하여 과거 타 연구결과와의 비교검토가 이루어졌다. 과거 Mehta and Partheniades(1975)는 다양한 퇴적물에 대하여 σ_1 과 $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 의 값을 산정하였는데, 그들은 $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 에 대하여 τ_{bmin} 의 함수로 주어지는 다음의 식 (3)을 제시하였다.

$$(\tau_b^* - 1)_{50} = 4 \exp(-1.27 \tau_{bmin}) \quad (3)$$

본 연구에서 산정된 $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 은 Mehta and Partheniades (1975)의 결과들과 함께 Fig. 5에 주어지는데, 본 연구에서 산정된 $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 이 식 (3)과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 이는 식 (3)이 매우 타당성 있음을 입증하는 결과이며, 또한 간접적으로는 본 연구에서 산정된 τ_{bmin} 와 $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 값이 타당함을 보여주는 결과라 할 수 있다.

한편, 값에 대해서 Mehta and Partheniades(1975)는 0.49로 항상 일정한 값을 갖는다고 주장하였으나, 본 연구결과에서는 황·양(2007) 및 황 등(2008)에 의해 주장된 바와 같이 퇴적물 및 퇴적수의 조건에 따라 크게 변화할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구와 황·양(2007) 및 황 등(2008)의 연구결과를 고려할 때, 퇴적물 및 퇴적수의 조건에 따라 크게 변화하는 것이 타당할 것으로 추정된다.

5.4 퇴적률 산정식의 결정 및 검토

Mehta and Partheniades(1975)는 궁극적 퇴사량 $(C_0 - C_{eq})$ 에 대한 임의의 시간 t 에서의 퇴사량 $(C_0 - C)$ 의 비율로 정의되는 상대퇴사량 C^* 를 도입하여 다음과 같은 퇴사량 산정식을 제시하였다.

$$C^* = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^T e^{-w^2/2} dw \quad (4)$$

$$T = \frac{1}{\sigma_2} \log[t/t_{50}] \quad (5)$$

여기서, σ_2 는 표준편차이고, w 는 가상변수이며, t_{50} 은 기하평

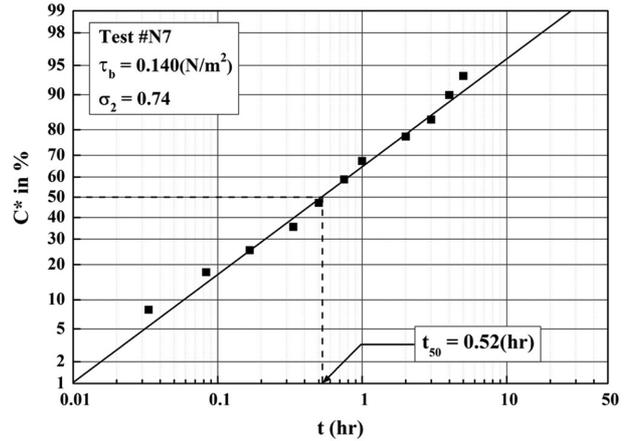


Fig. 6. Variation of C^* with t .

균으로 C^* 가 50%일 때의 시간 t 를 나타낸다. 한편 식 (4)를 시간 t 로 적분하면, 다음의 퇴적률 공식이 도출된다.

$$\frac{dC^*}{dt} = \frac{0.434}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-T^2/2} \frac{1}{t} \quad (6)$$

따라서 두 매개변수 σ_2 와 t_{50} 의 값이 주어지면, 식 (4)로부터 임의의 시간 t 에서의 수층 부유사농도 값이 산정될 수 있고, 또한 식 (6)으로부터 임의의 시간에서의 퇴적률이 산정될 수 있다.

우선, 각 실험별로 t vs. t_{50} 데이터가 도출되었는데, 한 예로 광양만 점착성 부유토사에 대한 Test #N7의 결과가 Fig. 6에 주어진다. 그림으로부터 누적로그-정규분포 좌표상에서 상대퇴사량 C^* 의 측정값들이 시간 t 가 증가함에 따라 선형적으로 증가함을 명백히 알 수 있는데, t 와 C^* 사이의 이러한 선형적 관계는 모든 실험에 대해 유효한 것으로 나타났다. 식 (4)의 상대퇴사량 공식이 누적로그-정규분포 함수임을 고려할 때에, 이러한 관측결과들은 식 (4)와 (6)이 매우 타당성 있음을 의미하며, 또한 간접적으로는 본 연구에서 수행된 퇴적실험 방법 및 실험결과가 타당함을 나타낸다.

한편, 식 (4)와 (6)을 적용하기 위해서는 두 매개변수 σ_2 와 t_{50} 값들이 필수적으로 요구되므로, 본 연구에서는 각 실험별로 각각의 t vs. C^* 측정 데이터에 식 (4)를 최소자승접합법으로 접합시켜 두 매개변수 σ_2 와 t_{50} 값들을 산정하고, 이들 매개변수에 대한 산정식을 도출하고자 하였다. 우선, 매개변수 t_{50} 과 τ_b^* 사이의 상관관계를 파악하기 위하여, 각 실험별로 τ_b^* vs. $\log t_{50}$ 데이터들이 도출되었으며, 과거 황·양(2007), 황 등(2008)에 의해 수행된 실험결과와 함께 Fig. 7에 제시된다.

Fig. 7에 제시된 바와 같이, τ_b^* 와 $\log t_{50}$ 이 명백히 선형관계가 있음을 보여주는데, $\tau_b^* = 1$ 을 기준으로 $\log t_{50}$ 의 변화양상은 명백히 구분됨을 알 수 있다. $\tau_b^* < 1$ 구간에서는 τ_b^* 가 증가함에 따라 $\log t_{50}$ 가 선형적으로 증가하고, $\tau_b^* > 1$ 구간에서는 역으로 $\log t_{50}$ 가 감소하는 경향을 보인다. 이러한 결과

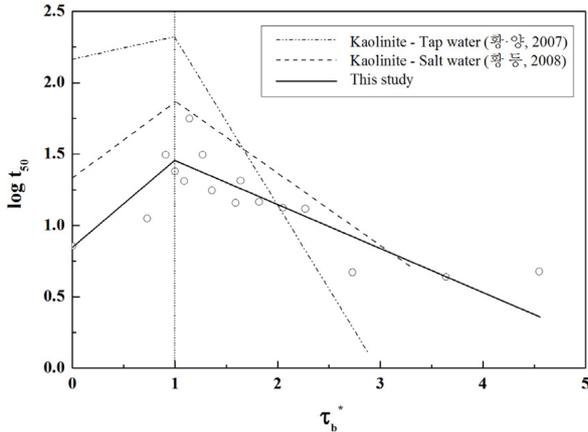


Fig 7. Comparison of $\log t_{50}$ between kaolinite and this study.

에 근거하여, $\tau_b^* = 1$ 를 기준으로 각 구간별로 최적접합곡선이 산정되었으며, 산정식은 식 (7)에 주어진다.

$$\log t_{50} = \begin{cases} 0.59 \tau_b^* + 0.85 & \tau_b^* \leq 1 \\ -0.30 \tau_b^* + 1.74 & \tau_b^* > 1 \end{cases} \quad (7)$$

매개변수 σ_2 에 대한 분석 또한 동일한 방법으로 수행되었다. 각 실험별로 τ_b^* vs. σ_2 데이터들이 도출되었으며, 그 결과가 Fig. 8에 제시된다. τ_b^* 와 σ_2 의 관계 역시 $\tau_b^* = 1$ 를 기준으로 그 변화양상이 명백히 구분되기는 하나, $\tau_b^* < 1$ 구간에서는 τ_b^* 와 무관하게 비교적 일정한 값을 갖는다. 각 구간별로 $\tau_b^* = 1$ 을 기준으로 산정된 σ_2 의 산정식은 식 (8)과 같다.

$$\sigma_2 = \begin{cases} 0.78 & \tau_b^* \leq 1 \\ -0.99 \tau_b^* + 0.87 & \tau_b^* > 1 \end{cases} \quad (8)$$

앞서 식 (7)과 (8)에 의해 제시된 두 매개변수 σ_2 와 $\log t_{50}$ 는 τ_b^* 에 의해 뚜렷하게 변화함을 알 수 있으며, σ_2 와 $\log t_{50}$ 는 τ_b^* 의 함수로 나타낼 수 있다.

과거 Mehta and Partheniades(1975) 또한 다양한 퇴적물과 퇴적수에 대한 퇴적실험을 수행하고 각각에 대한 σ_2 와

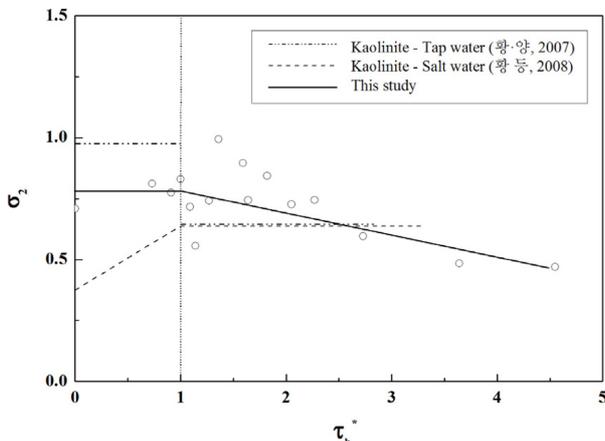


Fig. 8. Comparison of σ_2 between kaolinite and this study.

$\log t_{50}$ 값을 산정한 후에 그 변화양상에 대한 분석을 수행한 바 있다. 그러나 두 매개변수 σ_2 와 $\log t_{50}$ 값의 큰 변동성으로 인하여, 그들 또한 이들 매개변수에 대한 일반적인 산정식은 도출하지 못하였으며, 단지 매개변수 σ_2 와 t_{50} 이 바닥전단응력 τ_b , 수심 d 및 초기부유사농도 C_0 의 함수가 된다는 결론을 제시하였다.

결론적으로, 두 퇴적물 매개변수 σ_2 와 $\log t_{50}$ 값의 정략적 측면에서의 현저한 차이는 점착성 부유토사의 퇴적물이 부유토사 자체의 물리·화학적 특성과 퇴적수의 특성에 따라 지역적으로 크게 변화할 수 있다는 것을 의미하는 것으로, 특정 지역에서의 퇴적물 이동예측을 위한 수치모형 실험시 현장관측이나 실내실험을 통하여 정확한 퇴적특성 매개변수가 산정되어야 함을 의미한다고 하겠다.

6. 결 론

본 연구에서는 환형수조를 이용한 일련의 퇴적실험을 통하여 국내 최초로 자연시료에 대한 퇴적 매개변수가 정량적으로 산정되었다. 퇴적실험을 위한 자연시료는 최근 대규모 개발이 활발히 수행되고 있는 광양만에서 채취하였으며, 동일한 초기농도 조건에서 바닥전단응력의 크기를 변화시켜가며 총 18회의 퇴적실험이 수행되었다. 본 연구에서는 자연 점착성 부유토사의 최소전단응력(τ_{bmin}) 및 퇴적매개변수들(σ_1 , $(\tau_b^* - 1)_{50}$, σ_2 , t_{50})이 정량적으로 산정되었으며, 또한 과거 타 연구결과와의 비교검토를 통하여 본 연구 결과들의 타당성이 입증되었다.

본 퇴적실험 결과에 따르면, 일정한 바닥전단응력 값, 즉 최소전단응력보다 큰 바닥전단응력 하에서 수층 부유사 농도는 “평형농도”에 도달하게 되고, 최소전단응력보다 작은 바닥전단응력 하에서는 모든 수층 부유사는 궁극적으로 퇴적되는 현상이 관측되었다. 이는 과거 Mehta and Partheniades(1975), 황·양(2007), 황 등(2008)의 관측과 일치하는 결과로써, 평형농도의 발생여부를 나타내는 최소전단응력이 명백히 존재함을 보여주었다.

본 연구를 통하여 정량적으로 산정된 광양만 자연 점착성 부유토사의 최소전단응력은 0.11 N/m^2 으로 산정되었으며, $\tau_b > \tau_{bmin}$ 조건하에서 상대평형농도 C_{eq}^* 는 $(\tau_b^* - 1)$ 의 함수로 누적 로그-정규분포 공식을 이용하여 산정될 수 있음이 입증되었다. 또한, 본 연구에서 도출된 평형농도 산정식의 매개변수 σ_1 과 $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 은 각각 0.68과 0.85로써, τ_{bmin} 에 따른 $(\tau_b^* - 1)_{50}$ 의 변화는 과거 Mehta and Partheniades(1975) 및 황·양(2007)의 결과와 매우 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 황 등(2008)이 주장한 바와 같이 σ_1 은 퇴적물과 퇴적수의 특성에 따라 그 값이 변화하는 것으로 나타났다. 한편, 상대퇴적량(C^*) 산정을 위한 매개변수 σ_2 와 $\log t_{50}$ 의 값은 $\tau_b^* = 1$ 을 기준으로 명확히 변화됨이 확인되었으나, 매개변수 σ_2 와 $\log t_{50}$ 의 값은 변화의 다양성으로 인하여 산정식의 타당성 검증은 향후 연구

과제로 남겨진다.

본 연구결과는 타 연구결과와의 비교·분석을 통하여 그 타당성이 검증되었으며, 자연시료를 이용하여 국내에서 최초로 수행된 퇴적실험으로써 큰 의미를 갖는다. 비록 본 연구 결과가 단지 1개 정점에서의 표본시료만을 이용한 퇴적실험 이기는 하나, 과거 서 등(2008), 이(2001)에 의하면 동일 해역 내에서의 각 정점별 변화는 대체적으로 유사한 분포를 갖는 것으로 제시된 바 있으므로, 본 연구에서 수행된 퇴적실험 결과는 어느 정도에서는 광양만 해역을 대표하는 실험결과라고 할 수 있겠다. 본 연구를 통하여 정량적으로 산정된 광양만 점착성 부유토사의 퇴적특성들은 광양만 개발에 따른 발생 가능한 항로매몰의 예측을 위한 수치모형 실험시에 입력 자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 수층 부유사 농도의 연직구조 변동 예측, 수질 및 퇴적물 오염저감을 위한 대책 방안 수립 등 다양한 목적으로 크게 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 전북대학교 연구교수 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 부분적으로 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 해양환경보전기술개발사업 연구결과입니다.

참고문헌

국립수산진흥원 (1997). 해양환경공정시험법. 연구보고서, 한국해양학회.
 서영덕, 진재율, 황규남 (2008). 한강 하구역 점착성 퇴적물 침강속도의 지엽적/공간적 변화. 한국해양공학회지, 22(1), 37-45.

이재연 (2001). 새만금 해역 갯벌 퇴적물의 침강 특성에 관한 연구. 석사학위논문, 전북대학교.
 황규남, 조용식, 이태환 (2002). 새만금 미세점착성 퇴적물의 침강특성 : 퇴적물의 물리화학적 특성의 영향. 한국수자원학회 논문집, 35(5), 475-484.
 황규남, 소상돈, 김태민 (2005). 미세-점착성 퇴적물의 침식률 산정을 위한 실험적 연구. 한국해양해양공학회지, 17(2), 119-128.
 황규남, 양수현 (2007). 고령토 퇴적물의 퇴적특성에 대한 실험적 연구. 대한토목학회논문집, 27(6B), 679-687.
 황규남, 김남훈, 이영호 (2008). 염도 존재시 고령토 퇴적물의 퇴적특성 산정에 관한 실험적 연구. 한국수자원학회논문집, 41(9), 863-872.
 American Society for Testing and Materials (1987). Annual Book of A,S,T,M. Standards, 04.08, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, U.S.A.
 Mehta, A.J. (1986). Characterization of cohesive sediment properties and transport processes in estuaries. Estuarine Cohesive Sediment Dynamics, Springer-Verlag, Berlin, 290-325.
 Mehta, A.J. and Partheniades, E. (1975). An investigation of the depositional properties of flocculated fine sediments. J. Hydraul. Res., No. 4, 361-381.
 Rosillon, R. and Volkenborn, C. (1964). Sedimentation de Material Cohesivo en Agua Salada. Thesis, Univ. of Zulia, Maracaibo, Venezuela.
 Partheniades, E., (1965). Erosion and deposition of cohesive soils. Journal of the Hydraulics Division, 91(1), 105-138.
 Partheniades, E., Cross, R. H. and Ayora, A. (1968). Further results on the deposition of cohesive sediments. Proc. 11th conf. on Coastal Engr., London, 1(47), 723.

원고접수일: 2012년 4월 5일
 수정본채택: 2012년 5월 2일
 게재확정일: 2012년 5월 7일