

微細堆積物の 浮上特性에 관한 研究

Resuspension Characteristics of Deposited Fine-Grained Sediments

金次謙* · 李宗燮**

Kim, Cha-Kyum, Lee, Jong-Sup

Abstract

A series of experiments on the resuspension of deposited fine-grained sediments were carried out in a recirculating straight flume to investigate the influence of the sediment type, water content and bed shear stress (τ_b) on the resuspension characteristics of the sediments. The sediments were sampled from Youngkwang coast and Youngdo coast which are located in the western sea and southeastern sea of Korea, respectively.

Critical bed shear stress (τ_c) for resuspension was deduced for each experimental series. For the same sediment, critical bed shear stress for resuspension decreased but suspension mass or rate increased with increasing water content. The resuspension of deposited fine-grained sediments depended strongly on the water content, and the sediment type characterizing the inter-particle bond strength. It has been found that critical bed shear stress for resuspension in the unidirectional flow is about 4 times higher than that in the combined wave-current flow. In case of lower bed shear stress, after an initially high suspension, suspension mass approaches a constant value due to the bed hardening with increasing time, but in case of higher bed shear stress, suspension mass increased successively due to the bed softening with time.

Initial suspension rate, $E = \alpha_3 (\tau_b/\tau_c - 1)^\beta$ (where α_3 and β = empirical constants), was estimated for each experimental series, α_3 and β values for the same sediment increased with water content.

요 지

堆積物の 形態, 含水比 및 底面剪斷應力(τ_b)이 微細堆積物の 浮上特性에 미치는 영향을 연구하기 위해 순환식 개수로에서 浮上實驗을 하였다. 시료는 韓國의 西海岸에 위치한 영광해역과 南東海岸에 위치한 영도해역에서 채취한 것을 사용하였다.

堆積物の 종류 및 함수비의 크기에 따른 浮上限界底面剪斷應力(τ_c)이 유추되었다. 동일한 시료에 대해서 含水비가 클 수록 浮上限界底面剪斷應力은 감소하였으나, 浮上量은 증가하였다. 堆積物の 浮上은 堆積物の 含水비에도 크게 좌우되지만, 粒子間의 結合力(粘着力)을 특징짓는 堆積物の 形態에도 강하게 지배되었다. 한 방향 흐름장에서 浮上限界底面剪斷應力은 파-흐름 공존장에서의 浮上限界底面剪斷應力보다 약 4배 이상 크게 나타났다. 底面剪斷應力이 작을 경우에는 實驗初期에 急浮上한 후 시간이

* 正會員 · 釜山水産大學校 海洋科學大學 海洋工學科 講師

** 正會員 · 釜山水産大學校 海洋科學大學 海洋工學科 副教授

경과할 수록 저면의 경화로 인해 浮上量이 어느 일정치에 가까워지고 있으나, 底面剪斷應力이 클 수록 시간의 경과에 따라 저면의 연약화로 인해 浮上量도 계속적으로 증가하였다.

各 實驗에 대한 初期 浮上率 $E = \alpha_3 (\tau_b / \tau_c - 1)^\beta$ ($\alpha_3, \beta =$ 경험적 상수)을 평가하였으며, 동일한 시료에 대해서는 含水比가 클 수록 α_3 와 β 값이 증가하였다.

1. 緒 論

河口 및 沿岸海域에 분포하고 있는 微細堆積物은 파랑, 조류, 홍수 및 취송류 등에 의해 浮上하여 주변해역의 富營養化 및 水質汚濁問題를 일으키고 있다. 따라서, 해역의 水質을 예측하고, 보전하기 위해서는 懸濁物質의 移流分散方程式에서 source 항에 해당하는 底泥의 浮上速度를 정도 높게 표현하여야 한다.

底泥의 浮上에 관해서는 상당히 많은 研究가 진행되 왔지만, 浮上特性의 기본량인 底泥의 限界掃流力이나 浮上率을 정량화한 연구는 적다. 이것은 底泥에 작용하는 힘이 모래와는 달리 流體力과 重力만에 한정하지 않고, 粘着力이나 凝集力 등의 表面力이 지배적이기 때문이다. 粒子間의 粘着力에 영향을 미치는 인자는 粘土의 종류나 그 구성비, 염분, 흡착양이온 및 유기물 등 여러 인자가 있다. 그러나 底泥의 粒子間에 작용하는 힘을 내부기구까지 들어가서 정량적으로 파악하는 것은 불가능하다.

Partheniades⁽⁹⁾는 浮上率과 底面剪斷應力과의 관계를 구하였고, Ariathurai and Arulanandan⁽¹¹⁾는 균일한 底泥床에서 浮上率 E에 대한 일반식을 다음과 같이 표현하였다.

$$E = \alpha_1 (\tau_b / \tau_c - 1) \quad (1)$$

여기서, $\tau_b =$ 底面剪斷應力, $\tau_c =$ 浮上限界底面剪斷應力, $\alpha_1 =$ 經驗的 常數이다. α_1 과 τ_c 는 堆積物의 형태, Cation Exchange Capacity(CEC), 함수비, 염분 및 수중에 함유되어 있는 이온종류 등에 좌우된다. Mehta et al.⁽⁶⁾과 Parchure⁽⁷⁾는 浮上率은 侵蝕이 진행되는 동안에는 시간에 따라 선형적으로 증가하다가, 어느 일정시간 경과 후에는 浮上量이 어느 일정치에 달한다는 實驗結果를 얻었다. 또한, 그들은 侵蝕率과 過剩剪斷應力($\tau_b - \tau_c$)과의 관계를 설정하였다.

Mehta et al.^(4,5)은 底泥表層에서 깊이에 따라 剪

斷強度가 증가한다는 實驗結果를 얻었다. Dixit⁽²⁾는 시간의 경과에 따라 底面剪斷應力을 단계적으로 증가시키면서 底泥의 浮上率에 대한 實驗을 하였다. Hayter⁽³⁾는 염분의 변화에 따른 侵蝕舉動에 관한 實驗을 하여 염분이 증가할수록 剪斷強度는 증가하고 侵蝕率은 감소한다고 밝혔다. Parchure and Mehta⁽⁸⁾는 100% 이상의 含水比를 갖는 堆積物에 대한 浮上實驗에서 표면침식으로 인한 浮上率 E를 다음과 같이 표현하였다.

$$\ln \frac{E}{E_f} = \alpha_2 (\tau_b - \tau_c)^{1/2} \quad (2)$$

여기서, $\alpha_2 =$ 경험적 상수, $E_f =$ flocc의 浮上率이다. τ_c 는 일반적으로 底泥表面에서 아래로 내려갈 수록 증가하고, 또한 압밀정도에 따라 증가한다. α_2, E_f 도 식 (1)에 나타난 α_1, τ_c 와 동일한 물리·화학적 인자에 좌우된다. Otsubo and Muraoka⁽¹⁰⁾는 底泥의 浮上에 관한 實驗에서 입자의 浮上限界와 泥層의 파괴한계라고 하는 2개의 한계상태를 정의하여 그들 각각에 대한 限界掃流力과 降伏強度와의 관계를 구하였다.

大坪·村岡⁽¹⁰⁾은 底泥의 浮上率 實驗에서 底泥를 연속체보다 입상체로 취급하는 것이 타당하다는 결론을 내리고, 底泥의 無次元 浮上率은 破壞限界로 無次元화된 底面剪斷應力으로 통일적으로 표시된다는 식을 제시하였다. 海田 等⁽¹²⁾은 원형회전수로를 이용한 底泥의 浮上實驗에서 初期浮上率이 有效底面剪斷應力을 浮上限界底面剪斷應力으로 무차원화한 것의 指數로 표현되는 식을 발표하였으며, 또한 浮上過程을 표현하는 모델을 제안하였다. 楠田 等⁽¹¹⁾은 攪亂試料과 不攪亂試料를 사용한 浮上實驗에서 浮上量은 攪亂試料의 경우가 不攪亂試料의 경우보다 1 order 정도 더 크게 나타난다는 것을 밝혔다. 또한, 그들은 파동장에서의 實驗結果와도 비교·검토하였다.

이와 같이 底泥의 浮上에 관한 研究가 활발히

진행되고 있지만, 아직까지 다음과 같은 많은 문제점들이 남아 있다. i) 퇴적물의 형태에 따른 점착력 측정이 불가능하고, ii) 底泥의 浮上形態를 분류하는 적당한 지표가 없고, iii) 浮上時에 底泥의 擧動에 관한 研究가 거의 없고, iv) 浮上過程을 표현하는 적당한 모델이 없다.

本 研究에서는 이와 같은 問題點들 중에서 부상 과정을 표현하는 모델을 세우기 위한 기초단계로서 循環式 開水路에서 底泥의 種類, 含水比 및 底面剪斷應力의 變化에 따른 浮上實驗을 하여 이들이 浮上量에 미치는 영향을 검토한다. 또한, 浮上限界底面剪斷應力과 底泥의 浮上率을 산정하는 係數를 평가하여 底泥의 浮上率을 나타내는 실험식을 구하고자 한다.

2. 浮上實驗

2.1 實驗方法 및 條件

實驗은 그림 1에 나타난 길이 16 m, 높이 0.4 m, 폭 0.2 m의 循環式 開水路에서 행해졌으며, 이 때 수심은 0.25 m로 일정하게 하였다. 水槽의 바다과 뒷면은 철판이고, 앞면은 유리로 되어 있다. 水槽의 下流 꼬리부분에는 水位를 조절하는 水門을 설치하였고, 水槽의 上流部分에는 均등한 흐름이 발생하도록 diffuser를 설치하였다. 水槽의 下流部分에는 물이 PVC 파이프를 통해 水槽內로 재유입되도록 길이 1.3 m, 폭 1.2 m, 높이 0.75 m의 變換탱크(transition tank)를 설치하였다. PVC 파이프의 직경은 15 cm이고, 원심력 펌프의 배출용량은 0.0417 m³/s 이다. 실험에 사용된 물은 수도물이고, 시료와 물을 혼합하여 이물질은 손과 체로 걸러낸 다음 함수비를 조절하였다. 이렇게 하여 준비된 퇴적물을 水槽의 중앙 5 m 구간에 5 cm 높이로 설치하여 20시간 壓密시킨 후 實驗을 개시하였으며, 試料는 전남 영광

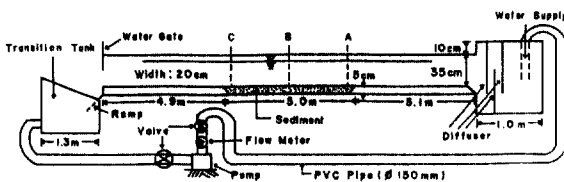


그림 1. 循環式 開水路 裝置

해안에서 채취한 것과 부산 영도해안에서 채취한 것을 사용하였다. 本 實驗에서는 그림 1에 나타난 C점의 연직 4개점(저면으로부터 1, 5, 10, 25 cm)에서 濃度와 流速를 소정시간(실험개시 후 2, 5, 10, 20, 40, 70, 120분)마다 측정하였다. 濃度는 사이펀(siphon)으로 채수하여 여과법으로 측정하였고, 層別 流速는 프로펠러형 정밀 유속계로 측정하였으며, 평균유속은 유량계로 측정하였다.

底面剪斷應力은 0.153~1.098 N/m²로 변화시키고, 含水比는 영광 퇴적물에 대해서는 100% 내외로 하고, 영도 퇴적물에 대해서는 각 底面剪斷應力에 대해서 155%, 185% 및 205% 내외로 변화시켰다. 本 研究에서 정의한 含水比는 압밀되기 전(즉, 堆積物을 수조에 설치한 직후)의 含水比이다. 本 實驗에 사용된 實驗條件은 表 1과 같으며, 表 1에 나타난 平均流速는 유량계로 측정된 유량(3 m³)을 시료가 놓인 수조의 중앙부(그림 1의 B점)에서의 단면적과 경과 시간으로 나눈 값이다.

2.2 試料의 特性

試料의 粒度分析은 체분석 및 피펫분석을 병용하여 하였으며, 分析結果를 그림 2에 나타냈다. 영광

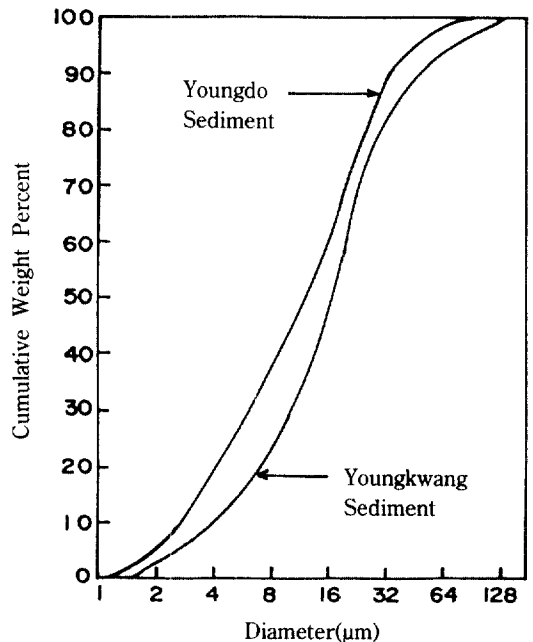


그림 2. 粒徑分布曲線

퇴적물의 粒徑分布는 1.5~128 μm 이며, d_{50} 은 20 μm 이다. 영도 퇴적물의 粒徑分布는 1.2~84 μm 이며, d_{50} 은 13 μm 이다. AASHTO 분류법에 의해 試料의 構成成分을 분석해 보면, 영광 퇴적물은 2%가 점토, 94%가 실트, 약 4%가 조립성분이고, 영도 퇴적물은 5%가 점토, 94%가 실트, 약 1%가 조립성분이다. 그러나, Wentworth 分類法에 의하면 영광 퇴적물은 10%가 점토, 84%가 실트, 약 6%가 조립성분이고, 영도 퇴적물은 20%가 점토, 79%가 실트, 약 1%가 조립이다. X-ray 회절법으로 시료의 광물성분을 분

석한 결과에 의하면, 영광 시료는 quartz, feldspar, illite, kaolinite 및 chlorite 성분으로 구성되고, 시료의 주성분은 quartz이었다. 영도 시료는 quartz, calcite, illite, kaolinite 및 chlorite 성분으로 구성되고, 시료의 주 성분은 영광 시료와 동일하게 quartz이었다. 시료의 광물성분으로 인한 영광 시료와 영도 시료의 차이점은 영광 시료에는 feldspar가 포함되 있는 반면에 calcite가 없고, 영도 시료에는 calcite가 포함되 있는 반면에 feldspar가 없다는 점이다.

表 1. 循環式 開水路에서 實驗條件

實驗番號 (Run)	平均流速 (cm/s)	含水比 (%)	底面剪斷應力 (N/m^2)	壓密時間 (hrs)	堆積物
1-1	28.05	98.0	0.153	20	영광
1-2	31.90	97.0	0.192	〃	〃
1-3	35.68	94.0	0.235	〃	〃
1-4	43.11	102.0	0.331	〃	〃
1-5	52.63	103.0	0.474	〃	〃
1-6	69.40	97.0	0.784	〃	〃
1-7	83.50	98.0	1.098	〃	〃
2-1	28.05	154.0	0.153	20	영도
2-2	31.90	156.0	0.192	〃	〃
2-3	35.68	152.0	0.235	〃	〃
2-4	43.11	158.0	0.331	〃	〃
2-5	52.63	159.0	0.474	〃	〃
2-6	69.40	152.0	0.784	〃	〃
2-7	83.50	154.0	1.098	〃	〃
3-1	28.05	182.0	0.153	20	영도
3-2	31.90	185.0	0.192	〃	〃
3-3	35.68	182.0	0.235	〃	〃
3-4	43.11	187.0	0.331	〃	〃
3-5	52.63	188.0	0.474	〃	〃
3-6	69.40	181.0	0.784	〃	〃
3-7	83.50	185.0	1.098	〃	〃
4-1	28.05	208.0	0.153	20	영도
4-2	31.90	209.0	0.192	〃	〃
4-3	35.68	203.0	0.235	〃	〃
4-4	43.11	207.0	0.331	〃	〃
4-5	52.63	208.0	0.474	〃	〃
4-6	69.40	205.0	0.784	〃	〃
4-7	83.50	202.0	1.098	〃	〃

2.3 底面剪斷應力 算定

水理學的으로 滑面狀態의 底面에 작용하는 剪斷應力은 식 (3)에 나타난 Prandtl-von Kármán의 對數流速分布로부터 계산되며, 底面剪斷應力과 摩擦速度와의 관계는 식 (4)와 같다.

$$\frac{U}{U_*} = 5.75 \log\left(\frac{U_* h}{\nu}\right) + 3.0 \quad (3)$$

$$\tau_b = \rho U_*^2 \quad (4)$$

여기서, U =斷面平均流速, U_* =摩擦速度, ν =流體의 動粘性係數, h =水深, τ_b =底面剪斷應力, ρ =流體의 密度이다. 表 1에 나타난 底面剪斷應力은 식 (3)과 식 (4)에 의해 계산된 값이다.

3. 結果 및 考察

3.1 浮上量에 미치는 底面剪斷應力의 효과

堆積物의 種類, 含水比 및 底面剪斷應力의 變化에 따른 底泥의 浮上實驗을 하여 연직방향의 농도분포를 측정하였다. 連직 4개점에서 측정된 濃도를 평균하여 다음식으로부터 平均浮上量을 산정하였다.

$$M = C \frac{Q}{A} \quad (5)$$

여기서, C =鉛直平均濃度, Q =全流量, A =底泥의 表面積이다. 식 (5)에 의해 계산된 浮上率을 그림 3~6에 나타냈다.

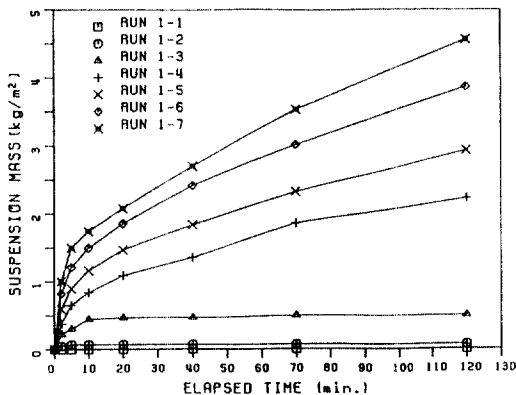


그림 3. 含水比가 약 100%일 때 底面剪斷應力의 函數로서 영광 퇴적물의 時間에 따른 浮上量

그림 3은 영광 퇴적물에 대한 實驗結果이며, 이때 사용된 堆積物의 含水比는 100% 내외이다. 이 경우 底面全斷應力이 가장 작은 0.153 N/m^2 에서는 浮上이 전혀 일어나지 않았다. 底面全斷應力이 작은 경우에는 實驗初期에 급격히 浮上한 후 시간이 경과할 수록 浮上速度의 감소와 함께 浮上量이 어느 일정치에 가까워지는 경향을 나타내었으나, 底面剪斷應力이 클 수록 時間의 경과에 따라 浮上量이 계속적으로 증가하였다.

그림 4~6은 영도 퇴적물에 대한 實驗結果이다. 그림 4는 含水比 $W \approx 155\%$, 그림 5는 $W \approx 185\%$, 그림 6은 $W \approx 205\%$ 인 경우이다. 含水比가 약 100%일 때 영광 퇴적물의 浮上량은 含水比가 약 155% 및 185%

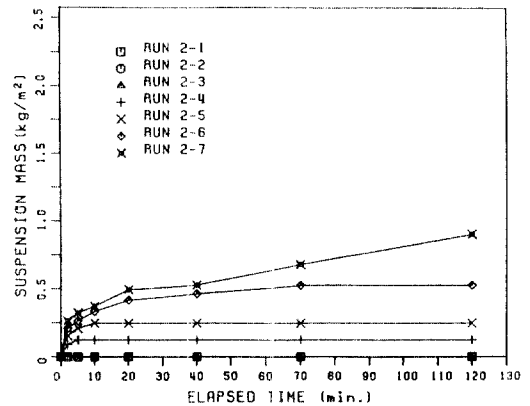


그림 4. 含水比가 약 155%일 때 底面剪斷應力의 函數로서 영도 퇴적물의 時間에 따른 浮上量

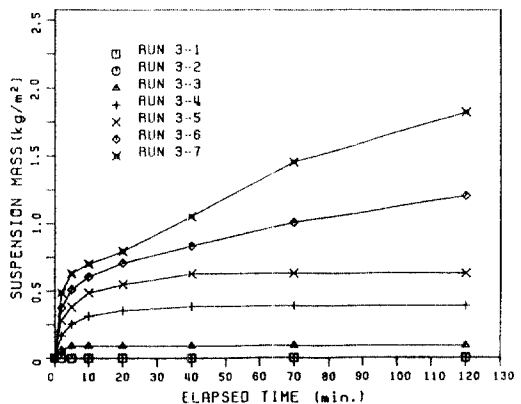


그림 5. 含水比가 약 185%일 때 底面剪斷應力의 函數로서 영도 퇴적물의 時間에 따른 浮上量

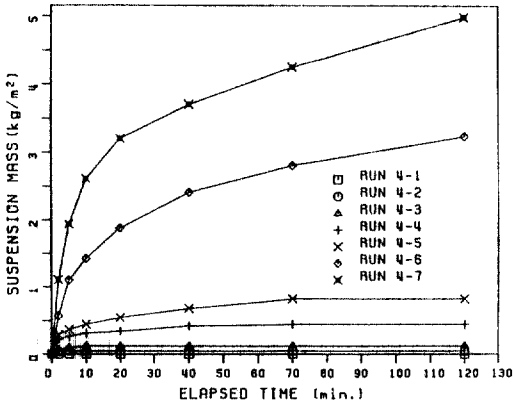


그림 6. 含水비가 약 205%일 때 底面剪斷應力の 函數로서 영도 퇴적물의 時間에 따른 浮上量

%일 때 영도 퇴적물의 부상량보다 훨씬 많았고, 含水비가 약 205%일 때 영도 퇴적물의 부상량과 비슷하게 나타났다. 이와 같이 含水비의 크기에 따라 浮上量의 차이는 크게 나타나고 있지만, 浮上形態는 유사하다. 전반적으로, 영광 퇴적물과 유사하게 實驗初期에는 浮上量이 많고 시간의 경과에 따라 浮上量이 어느 일정치에 가까워지고 있다. 이것은 浮上初期段階에서는 泥層이 충분히 壓密되어 있지 않았기 때문에 浮上量이 많고, 시간의 경과에 따라 底泥表層이 흐름에 의한 剪斷應力을 받아 底泥가 연직방향으로 서서히 압밀되어 浮上하기 어려운 粒子間的 구조가 형성되어 浮上速度가 정지하기 때문이다. 底面剪斷應力이 0.474 N/m² 이하에서는 40분 경과 후에 거의 平衡狀態에 도달하지만, 底面剪斷應力이 1.098 N/m²일 경우에는 시간의 경과에 따라 浮上量도 계속 증가하는 양상을 보여주고 있다. 이것은 底面剪斷應力이 클 수록 저층에서 난류성분이 발달하게 되며, 이로 인해 底泥表面이 쉽게 교란되기 때문이다.

浮上量이 平衡狀態에 도달하는 시간은 金·李⁽¹³⁾가 동일한 시료를 사용하여 파·흐름 공존장에서 실험한 경우보다 훨씬 빠르다. 이것은 파·흐름의 공존장에서는 저층에서 파·흐름에 의해 난류성분이 발달하여 난류응력(Reynolds stress)이 크고, 또한 파압이 주기적으로 작용하기 때문에 底面剪斷應力도 주기적으로 변동하여 底泥表層이 연약화되기 때문이다. 그러나, 한 방향 흐름장에서는 底面剪斷應力이

일정 방향으로만 작용하기 때문에 底泥表層이 파·흐름 공존장에 비해 교란되기 어렵고, 또한 파·흐름 공존장에서보다 底泥表層이 빨리 경화되어 浮上速度의 감소를 가져오기 때문이다.

3.2 浮上量에 미치는 含水比의 효과

浮上量에 미치는 含水比의 영향을 알아보기 위해 浮上量을 含水比의 함수로서 그림 7의 (a)~(d)에 나타냈다. 그림 7의 (a)는 底面剪斷應力이 0.331 N/m², (b)는 底面剪斷應力이 0.474 N/m², (c)는 底面剪斷應力이 0.784 N/m², (d)는 底面剪斷應力이 1.098 N/m²일 때 浮上量을 나타낸 것이다. 이들 결과에 의하면, 含水비가 클 수록 浮上量이 크게 나타났다. 또한, 底面剪斷應力이 작은 경우에는 함수비의 크기에 따른 부상량의 차가 적게 나타났으나, 底面剪斷應力이 클 수록 含水비의 크기에 따른 浮上量의 차가 크게 나타났다. 이것은 含水비가 증가함에 따라 입자간의 결합력이 감소하기 때문이다.

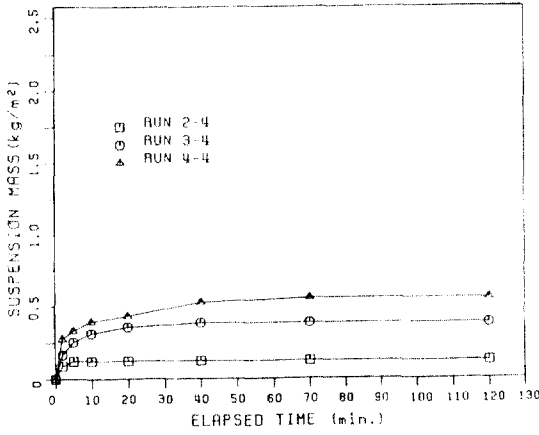
4. 浮上率의 評價

底泥의 浮上率 E를 평가하는 식은 다음과 같다.

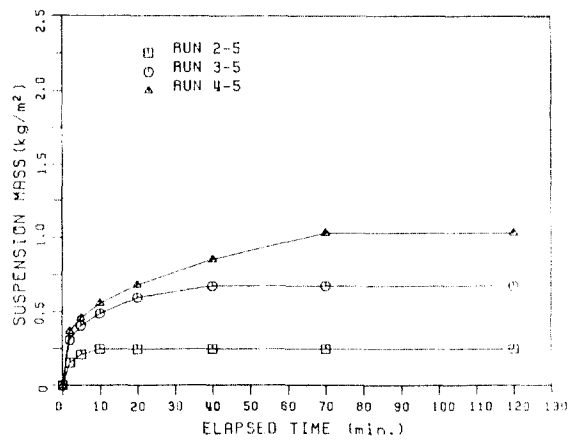
$$E = \frac{dC}{dt} \frac{Q}{A} \quad (6)$$

여기서, t=時間이다. 식 (6)에 의해 계산된 初期浮上率(실험개시 후 5분)과 底面剪斷應力과의 관계를 그림 8에 나타냈다. 그림 8에서 Run series 1은 含水비 W≈100%일 때의 영광 퇴적물, Run series 2~4는 영도 퇴적물에 대한 결과이다. Run series 2는 W≈155%, Run series 3은 W≈185%, Run series 4는 W≈205%인 경우이다.

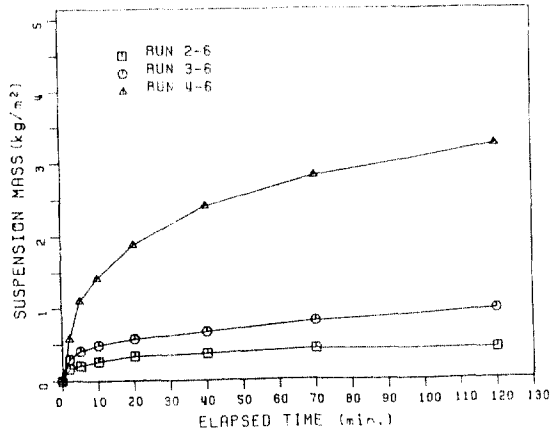
底泥의 浮上限界底面剪斷應力에 대한 정의 방법은 底泥의 移動樣式이 轉動(rolling), 躍動(saltation), 浮上(suspension)으로 구분되기 때문에 각 연구자에 따라 다르다. 따라서, 본 연구에서는 浮上限界底面剪斷應力을 실험개시 5분 경과후의 浮上速度로 정의한 초기부상률과 저면전단응력과의 관계를 나타내는 그림 8의 최적적합곡선(best fitting curve)으로부터 유추하였다. W≈100%인 영광 퇴적물의 浮上限界底面剪斷應力은 $\tau_c = 0.185 \text{ N/m}^2$ 으로 나타났



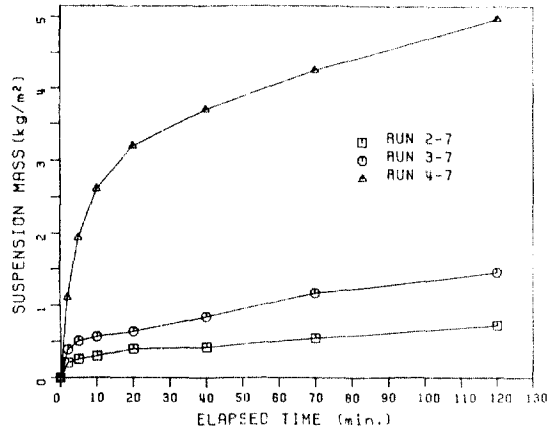
(a) $\tau_b=0.331 \text{ N/m}^2$



(b) $\tau_b=0.474 \text{ N/m}^2$



(c) $\tau_b=0.784 \text{ N/m}^2$



(d) $\tau_b=1.098 \text{ N/m}^2$

- (a) $\tau_b=0.331 \text{ N/m}^2$
- (b) $\tau_b=0.474 \text{ N/m}^2$
- (c) $\tau_b=0.784 \text{ N/m}^2$
- (d) $\tau_b=1.098 \text{ N/m}^2$

그림 7. 습수비의 函數로서 영도 퇴적물의 時間에 따른 浮上量

다. 영도 퇴적물에 대해서는 $W \approx 155\%$ 일 경우에는 $\tau_c = 0.295 \text{ N/m}^2$, $W \approx 185\%$ 일 경우에는 $\tau_c = 0.215 \text{ N/m}^2$, $W \approx 205\%$ 일 경우에는 $\tau_c = 0.185 \text{ N/m}^2$ 으로 나타났다. 영광 퇴적물의 순환식 개수로에서 浮上限界底面剪斷應力은 金·李¹³⁾가 동일한 시료를 사용하여 파·흐름 공존장에서 얻은 浮上限界底面剪斷應力($\tau_c = 0.045 \text{ N/m}^2$)보다 약 4배 이상 크다. 동일한 시료와 동일한 실험조건에서는 습수비가 증가할 수록 浮上

限界底面剪斷應力은 감소하였다. 습수비 $W \approx 100\%$ 인 영광 퇴적물의 浮上限界底面剪斷應力은 $W \approx 205\%$ 인 영도 퇴적물의 浮上限界底面剪斷應力과 같게 나타났다. 이 결과로부터 微細堆積物의 浮上은 습수비에도 크게 작용하지만, 堆積物의 構成成分(堆積物의 形態, 鑛物成分 및 粒徑의 크기 등)에 따라 좌우되는 입자간의 結合力(粘着力)에도 강하게 지배된다는 것을 알 수 있다. 일반적으로, 粘着力은 입

表 2. 初期浮上率式

實驗의 一連番號 (Run series)	堆積物	含水比 (%)	浮上限界底面 剪斷應力(N/m ²)	初期浮上率式 (kg/m ² /s)
1	영광	100	0.185	$1.883 \times 10^{-3} (\tau_b/\tau_c - 1)^{0.633}$
2	영광	155	0.295	$6.486 \times 10^{-4} (\tau_b/\tau_c - 1)^{0.284}$
3	영광	185	0.215	$8.913 \times 10^{-4} (\tau_b/\tau_c - 1)^{0.443}$
4	영광	205	0.185	$1.107 \times 10^{-3} (\tau_b/\tau_c - 1)^{1.102}$

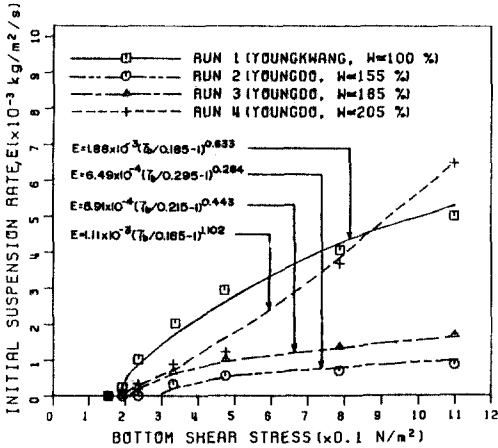


그림 8. 底面剪斷應力과 初期浮上率과의 關係

경이 작을 수록 강하고, 입경이 클 수록 약하다.

本 研究에서는 底泥의 初期浮上率을 나타내는 식을 海田 等⁽¹²⁾이 제안한 식 (7)과 같은 형태로 표현하였다.

$$E = \alpha_3 (\tau_b/\tau_c - 1)^\beta \quad (7)$$

여기서, α_3 , β = 經驗的 常數이다. 식 (7)과 같은 형태로 표현된 初期浮上率에 대한 식을 浮上限界底面剪斷應力과 함께 表 2에 나타냈으며, 동일한 시료에 대해서는 含水比가 클 수록 α_3 와 β 값이 증가하였다. α_3 , β 및 τ_c 는 粘性土의 입자간의 결합강도를 특징짓는 CEC, 堆積物의 形態, 含水比, 鹽分, pH, 水溫 및 水中에 존재하는 이온종류 등에 좌우된다. 底泥의 浮上率에 미치는 영향인자 중에서도 底泥의 性狀에 의한 영향이 가장 크기 때문에 底泥의 압밀정도에 따라 저면전단강도와 浮上率의 차가 크다.⁽⁶⁾ 본 연구에서는 담수를 사용하였고, 또한 압밀시간이 비교적 짧기 때문에 自然상태에서의 부상율보다 다소 크게 나타난 것으로 생각된다.

5. 要約 및 結論

전남 영광해안과 부산 영도해안에서 채취한 粘性土를 사용하여 循環式 開水路에서 堆積物의 形態, 含水比 및 底面剪斷應力의 크기에 따른 浮上實驗을 하여 이들이 浮上量 및 浮上限界底面剪斷應力에 미치는 영향에 대해 검토하였으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

(1) 堆積物의 종류 및 含水比의 크기에 따른 浮上限界底面剪斷應力이 유추되었다. 동일한 시료에 대해서 含水比가 클 수록 浮上限界底面剪斷應力은 감소하였고, 浮上量 및 初期浮上率은 증가하였다. 또한, 底面剪斷應力이 클 수록 含水比의 크기에 따른 浮上量의 차가 크게 나타났다. 微細堆積物의 浮上은 堆積物의 含水比에도 크게 좌우되지만, 粒子間의 결합력(점착력)을 특징짓는 堆積物의 형태에도 강하게 지배되었다.

(2) 한방향 흐름장에서 浮上限界底面剪斷應力은 파-흐름 공존장에서의 浮上限界底面剪斷應力보다 약 4배 이상 크게 나타났다.

(3) 底面剪斷應力이 작은 경우에는 實驗初期에 급격히 浮上한 후 시간이 경과할 수록 저면의 경화로 인해 浮上量이 어느 일정치에 가까워지고 있으나, 底面剪斷應力이 클 수록 시간의 경과에 따라 저면의 연약화로 인해 浮上量이 계속적으로 증가하였다.

(4) 各 實驗에 대한 初期浮上率 $E = \alpha_3 (\tau_b/\tau_c - 1)^\beta$ 을 평가하였으며, 동일한 시료에 대해서 含水比가 클 수록 α_3 와 β 값이 증가하였다.

參 考 文 獻

1. Ariathurai, R. and Arulanandan, K., "Erosion rates of cohesive soils", *Journal of Hydraulic Divi-*

- sion, ASCE, Vol. 104, No. 2, 1978, pp. 279-283.
2. Dixit, J.G., "Resuspension Potential of Deposited Kaolinite Beds", M.S. Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida, 1982.
 3. Hayter, E.J., "Prediction of Cohesive Sediment Movement in Estuarial Waters", Ph. D. Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida, 1983.
 4. Mehta, A.J. and Partheniades, E., "Resuspension of Deposited Cohesive Sediment Beds", *Proc. of the Eighteenth Coastal Engrg. Conf.*, ASCE, Vol. II, Cape Town, South Africa, Nov., 1982, pp. 591-609.
 5. Mehta, A.J., Parchure, T.M., Dixit, J.G. and Ariathurai, R., "Resuspension Potential of Deposited Cohesive Sediment Beds", *Estuarine Comparisons*, V.S. Kennedy, Ed., Academic Press, New York, 1982, pp. 591-609.
 6. Otsubo, K. and Muraoka, K., "Critical Shear Stress of Cohesive Bottom Sediments", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 114, No. 10, 1988, pp. 1241-1256.
 7. Parchure, T.M., "Erosional Behavior of Deposited Cohesive Sediments", Ph. D. Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida, 1984.
 8. Parchure, T.M. and Mehta, A.J., "Erosion of Soft Cohesive Sediment Deposits", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. 10, 1985, pp. 1308-1326.
 9. Partheniades, E., "Erosion and Deposition of Cohesive Soils", *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 91, No. HY1, 1965, pp. 105-138.
 10. 大坪國順, 村岡浩爾, "流れによる底泥の飛び出し率", *日本土木學會論文集*, 第375號, II-6, 1986, pp. 43-52.
 11. 楠田哲也, 山西博幸, 吉見博之, 二渡了, "攪亂・不攪亂底泥の巻き上げ特性に関する實驗的研究", 第36回 *海岸工學講演會論文集*, 1989, pp. 314-318.
 12. 海田輝文, 楠田哲也, 二渡了, 栗谷陽一, "柔らかい底泥の巻き上げ過程に関する研究", *日本土木學會論文集*, 第393號, II-9, 1988, pp. 33-42.
 13. 金次謙, 李宗燮, "과-흐름의 共存場에서 실트질 점토의 浮上特性", *韓國海岸・海洋工學會誌*, 第4卷, 第1號, 1992, pp. 26-33.

(接受: 1992. 3. 7)