

점착성 퇴적물의 침강특성에 관한 연구⁺

신 동 수* · 배 기 성*
(97년 11월 25일 접수)

Study on the Settling Process of Cohesive Sediment

Dong-Soo Shin* · Ki-Seong Bae*

Key Words : Cohesive Sediment(점착성퇴적물), Suspended Concentration(부유농도), Settling Velocity(침강속도), Flocculation(응집), Mud(泥)

Abstract

Laboratory settling experiments (column, recirculating flume) were conducted for further understanding of the physical processes of cohesive sediment transport.

In still water experiments, the growth rate of flocculation is dependent upon the initial suspended concentration. Consequently, the settling velocity increases with concentration of flocs. In flocculation settling regime, the exponent n in the settling velocity, $w_s = k C^n$, for Nakdong estuary mud was obtained empirically. The exponents were found to be 1.33, and 1.06 for the initial suspended concentrations of 1 g/l and 3 g/l, respectively.

In flowing water, experiments for the median settling velocity with Nakdong mud in a recirculating flume were conducted. Settling velocity was found to depend much more strongly on the current velocity than initial concentrations. The temporal variation of suspended concentration increases as current velocity decreases.

1. 서 론

우리나라의 서해 및 남해 연안에 분포되어 있는 미세·점착성 퇴적물은 사질성 퇴적물과는 달리 부유입자의 침강속도가 매우 작기 때문에 파랑과 흐름(조류, 연안류, 하천류 등) 등의 외력작용에 의해 '쉽게 「부상→ 이동→ 침강」의 수송과정을 나타내

며, 주변해역에서의 현저한 해저지형 변화를 초래하게 된다. 또한 점착성 부유토사는 해수중에서의 이온화 및 응집현상으로 인하여, 연안해역으로 유입된 유독성의 오염물질들과 쉽게 결합되어 해저면에 퇴적하게 됨으로서 장기적인 측면에서 해양오염의 주된 원인으로 나타나게 된다.

하구나 연안해역에 있어서 퇴적물의 이동현상은

⁺ 이 논문은 1996년도 경상대학교 연구 장학재단 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

* 정회원, 경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과, 해양산업연구소

침식, 이류·확산, 응집, 침강, 압밀 등의 과정으로 독립적이 아니고 상호 연관되어 있고, 또한 해수의 유동특성, 유체의 물리적 특성 및 미세·점착성 퇴적물의 물리·화학적 특성에 의해 이동현상이 크게 좌우되기에 퇴적물 이동현상에 관한 해석이 매우 어렵다.

본 연구에서는 낙동강 하구부의 미세·점착성 퇴적물 이동예측에 중요한 해저면에서의 연직수송량의 정량적인 추정을 위한 기초연구로서 정지유체(quiescent fluid) 및 흐름이 있을 때의 경우에 대해 낙동강하구 저지의 침강특성을 실험을 통하여 규명하고자 한다.

2. 점착성퇴적물의 침강특성

미세퇴적물의 침강특성은 부유물질의 퇴적물과 연직방향의 농도분포에 큰 영향을 미친다. 하구역 또는 연안역에 있어서 부유물질의 연직분포를 모델화하거나 혹은 퇴적과정을 정도 높게 파악하기 위해서는 침강에 대한 명확한 기구해석이 요구된다. 침강은 중력 및 입자에 대한 점성력 그리고 입자상호작용에 의한 입자운동이며, 침강속도는 정지유체에서의 침강율로서 정의된다. 퇴적물의 침강에 대한 연구는 주로 실험적 혹은 경험적인 것으로서 부유농도와 염도를 미리 결정하여 실내실험을 통하여 현탁물로 수행하는 실험적 연구와 분산되지 않은 시료를 채취하여 현장에서 직접 실시하는 경험적인 실험연구가 있다. 정지유체에서 침강에 대한 연구는 DSIR¹⁾, McLaughlin²⁾, Krone³⁾, Migniot⁴⁾ 등에 의해 수행되었고, 침강속도의 동역학적인 연구는 Owen⁵⁾에 의해 처음으로 시도되었다. 최근 연구로는 대형 침강칼럼을 이용하여 침강속도를 측정 한 Leussen⁷⁾의 보고가 있다. Mehta⁸⁾는 점착성 퇴적물의 침강속도는 토사입경의 함수가 아니라 부유농도의 함수라 하였고, 침강형태는 3개의 형으로서 (1) 낮은 농도로 침강입자간의 간섭이 없는 자유 침강, (2) 낮은 농도로 침강입자간에 상호간섭이 있는 응집침강, (3) 높은 농도로 입자의 침강이 제한되는 간섭침강으로 구분하였다.

0.1~0.7 g/l의 저농도에서는 부유입자의 침강은 상호간섭없이 거의 독립적으로 침강한다. 그리고

부유농도가 0.3~10 g/l에서는 입자간의 충돌이 활발하여 flocc를 형성하기 때문에 농도의 증가에 따라 침강속도도 증대가 되지만, 약 10~15 g/l이상의 고농도가 되면 간섭침강이 일어나고 간섭침강은 퇴적물의 침강이 계속되면서 간극수가 빠져나가기 때문에 상승류가 생기고 오히려 침강속도는 작아지게 된다. 또한 매우 높은 농도(10~30 g/l)의 니트를 함유한 유동하기 쉬운 층을 sling mud라고 하며, 간섭침강에 의한 고농도 현탁(10 g/l 이상)을 유체저니(fluid-mud)로 정의한다. Krone⁹⁾은 1 g/l 부유농도까지의 침강속도는 부유농도 $C^{4/3}$ 에 비례함을, 또한 부유농도와 염도가 침강속도에 미치는 영향에 대한 연구에서 0.12 g/l 및 1 g/l의 부유농도에 대해 염도가 각각 5 g/l, 20 g/l 이상이면 염도는 침강에 영향을 미치지 않음을 보고하였다.

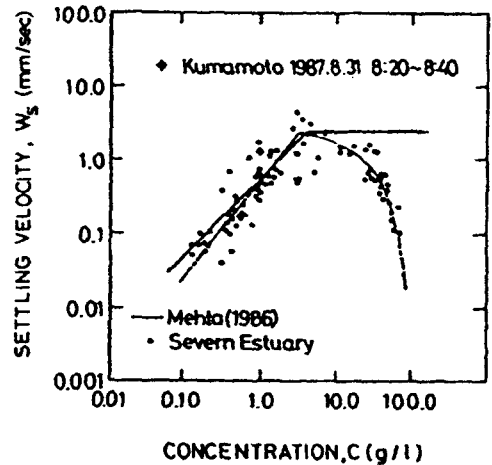


Fig. 1 Settling velocity variation with concentration for Kumamoto bay(鶴谷,1989)

Ross¹⁰⁾는 점착성 퇴적물을 정지유체하의 침강칼럼 실험을 수행하여 부유농도에 있어서 침강속도 W_s 와 침강율 $F_d (= W_s C)$ 의 관계를 응집침강 범위에서 침강속도는 농도의 1.6승에 비례함을 보고하였다. 이것은 일반적으로 Krone(1962)의 관측과 거의 일치하고 것으로 나타났다. 鶴谷廣一¹¹⁾는 Kumamoto만의 현지관측 자료를 정리하여 일정 염분에 대하여 Thorn¹²⁾의 연구결과와 비교 검토하

였다(Fig. 1). 그림에서 파선은 Thorn의 현지관측 자료를 이용하여 Mehta(1986)가 작성한 것이며, 실선은 구마모토만의 퇴적물 이동의 수치계산에 이용한 것으로 간섭침강 영역에 대해서는 고농도저리의 유동특성에 대한 해석이 미흡하기 때문에 이 영역에서의 침강속도는 농도가 일정치 이상이 되면 일정한 것으로 가정하여 작성된 것이다.

응집된 현탁부유물의 침강속도는 정수상태에서 현탁부유물의 유체-부유물 표면해석에 의해 결정되어지고, 자연적인 난류흐름에서는 정확한 침강속도는 나타낼 수 없는 단점이 있다. Rijn¹³⁾은 수심이 다른 유체에서 침강속도의 해석에서 차별침강에 의한 침강속도는 수심에 따라 현저한 영향을 받고, 큰 flocs는 작은 flocs보다 큰 침강속도를 가지며, 또 다른 새로운 큰 flocs를 형성하면서 침강한다고 하였다. Fig. 2와 같이 난류의 유체력이 없을 때, 즉 흐름이 없는 정수 상태에서는 저층에서의 침강속도가 상층보다 크게 된다. 흐름이 존재할 때는 작은 flocs는 큰 flocs가 부서지는 경계층에서는 난류전단력에 의해 저면 근처에서 침강속도에 큰 변화가 있게 된다.

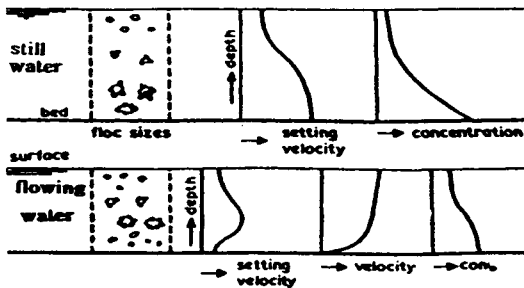


Fig. 2 Settling and flocculation in still water and flowing water(Van Rijn, 1989)

3. 침강실험

침강속도의 측정법에는 직접적 및 간접적인 방법이 있다. 직접적인 방법은 영상이나 사진관측을 이용하여 입자나 응집입자들의 침강속도를 직접 측정하는 방법이다. 그러나 침강의 불균일성 때문에 침강속도를 측정함에 상당한 어려움이 수반된다. 반면에 일반적으로 이용되는 간접적인 방법은

부유물의 평균 침강속도를 결정하는 방법으로, 가적방법과 점농도방법(pipette)이 있다. 가적방법은 침강칼럼의 측정심과 침강질량의 비를 이용하여 평균입자의 침강속도를 구하는 방법이며, Pipette 방법은 정지유체에서 점농도를 측정하는 것이다.

응집성 단일입자의 침강과 같이 계면이 명확하지 않을 경우는 연직농도분포를 시간과 함께 측정하여, 농도변화로부터 침강속도가 구해진다. 이 경우 침강속도를 구하는 2가지 방법이 있다. 하나는 입자가 균일하다고 가정하여 침강속도를 부유농도만의 함수로 생각하여, 연직농도분포의 시간적 변화를 알면 다음과 같이 침강속도가 구해진다.

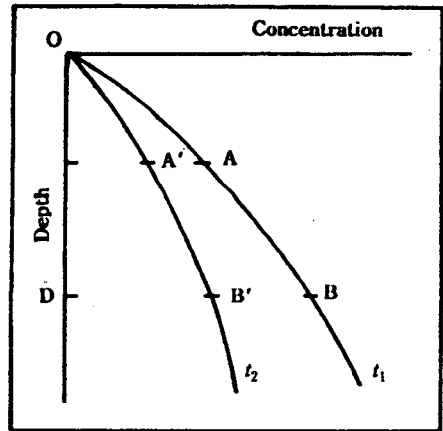


Fig. 3 Vertical distribution of SS

Fig. 3과 같이 침강칼럼내에 있어서의 부유물 농도(C)는 깊이(z)와 시간(t)의 함수로 식(1)의 연속 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (W_s \cdot C)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

여기서 식(1)을 연직방향 z에 대해 적분하면 식(2)와 같이 정리된다.

$$(W_s \cdot C)_{z=d} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_0^d C dz \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 시간변화에 따른 부유물의 연직농도분포를 파악하므로써, 각각의 시간(t_1, t_2)에서 농도분포를 표면에서 수심 a까지 적분하여, 이

것을 시간 미분한 후 수심 a 점에서의 농도로 나누면 된다. OABD 와 OA'B'D의 면적차를 ΔS 라하면 침강속도는 다음과 같다.

$$W_s = \Delta S / (t_1 - t_2) / C_{z=a} \quad (3)$$

위 방법은 침강속도가 농도의 함수로서 구해지기 때문에, 항로매물의 시물레이션 등을 행할 때 편리하다. 그러나 실제 부유물은 단일입자로만 구성되어 있지 않고, 다양한 입경으로 구성되어 있어 부유물에 대한 침강속도 분포를 고려하여 다음과 같이 침강속도누가곡선을 구하는 방법이 있다.

침강수조내에서 연직방향으로 초기부유농도가 균일한 경우, 임의시간 t 에 있어서의 깊이 d 점을 생각할 때, 침강속도가 d/t 보다 큰 입자는 d 보다 깊은 곳까지 침강하였고, 한편 침강속도가 d/t 보다 작은 입자는 아직 d 까지 침강하지 않았기에, 그 농도는 초기상태와 같다. 깊이 d 에서의 농도 C 와 초기농도 C_0 의 비 C/C_0 는 침강속도를 나타내는 지표가 된다. 만약 최종 C/C_0 의 값이 1이 되면, 측정시점에서의 농도는 변화하지 않은 것을 의미하며, d/t 보다 큰 침강속도의 입자는 존재하지 않게 된다. 따라서 종축에 각각의 측정시간 및 측정심에 있어서의 C/C_0 를, 횡축에는 침강속도 ($W_s = d/t$)를 도시하면, 그 침강속도보다 작은 입자의 존재비율을 나타내는 침강속도 누가곡선을 구할 수 있다.

본 연구에서는 1996. 6. 30 낙동강 하구 장자도 복단의 저니를 시료채취기로서 채취하여, 불순물(염분, 무기물 등)을 제거한 시료를 사용하였다. 정지유체하에서 침강수조 실험, 흐름이 존재하는 재순환 수로에서 침강실험으로, 초기농도를 변화시키면서 연직부유농도분포의 시간적인 변화와 시간적인 변화에 따른 부유농도변화의 상관 등에 대해 규명하고자 한다.

3.1 침강수조 실험

입자의 침강속도를 구할 경우 일반적으로 침강수조(Column)를 사용한다. 그러나 침강수조실험은 시간 경과에 따른 부유농도를 구하기 위하여 부유물을 채취하므로, 그 후의 농도는 채수량의 영향을

받아 초기농도가 변할 우려가 있고, 또한 수심 방향으로 농도차가 생기지 않도록 하는 것이 중요하기 때문에 채수량은 가능한 한 적게 하고, 교반날개의 회전, 원통칼럼 자체의 상하진동 등으로 성층화로 인한 밀도차를 줄여야 한다.

본 실험에서는 Fig. 4와 같이 직경 28cm, 높이 240cm의 침강원통에 연직방향 30cm 간격으로 7개의 채수공을 설치하여 교반날개를 사용하여 실험을 행하였다.

본 침강실험에 채택된 부유물의 초기농도는 1 g/l, 3 g/l로 하였고, 염분농도는 낙동강 하구역에서 측정된 염분농도의 대표값 28‰의 농도로, 측정시간은 5, 10, 20, 30, 60, 120, 1080분 간격으로 실험을 하였다. 부유물의 채수량은 약 20ml로 하여 초기농도에 영향이 적도록 하였으며, 채수량의 최소 눈금은 0.2ml 단위로 하였다.

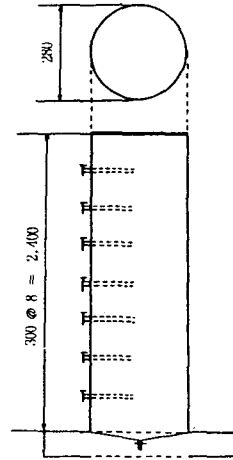


Fig. 4 Schematic diagram of settling column

실험결과를 이용하여 시간변화에 따른 연직부유농도분포를 나타낸 것이 Fig. 5이며, 여기서 농도는 침강속도를 구한 각각의 시점과 채수심에서의 농도에 대응하는 것이다. 실제의 침강속도는 앞서 설명한 바와 같이 초기농도를 이용하는 것보다 각각의 측정시점에 있어서 부유농도의 함수로서 산정하는 것이 합리적으로 생각되었다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 초기시간 20분까지의 연직부유 농도분

포의 경사는 급경사를, 20분 이후부터는 완만한 경사를 보이고 있다. 황¹⁴⁾이 초기농도 1.8 g/l로 실험한 결과(Fig. 6) 및 日本海運省港灣技術研究所¹⁵⁾에서 초기농도 1 g/l의 응집성 단입자로서 침강칼럼 실험결과를 나타낸 Fig. 7과 본 실험의 결과를 비교해 볼 때, 실험 초기시간대에는 정성적으로 거의 유사한 형태의 농도분포를 나타내고 있음을 알 수 있으나, 구마모토, Okeechobee, 낙동강하구, 즉 퇴적물의 성분에 따라 공간적으로 침강특성의 변화가 추정된다.

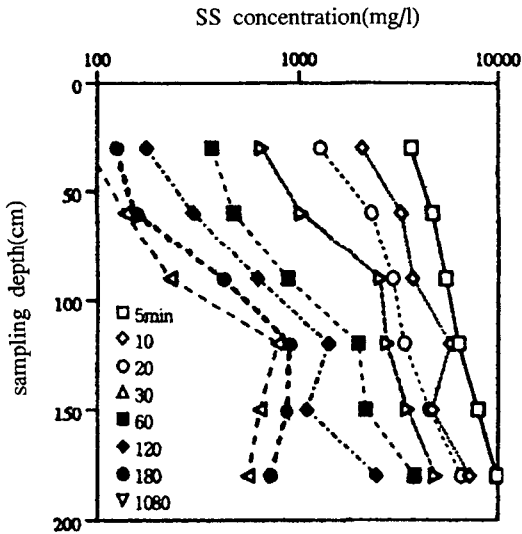


Fig. 5 Temporal variation of vertical distribution (SS) ($C_0 = 3g/l$)

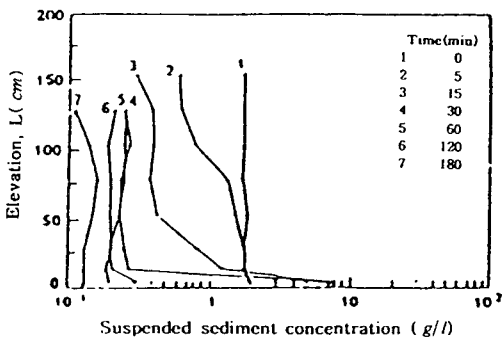


Fig. 6 Concentration profile (Hwang, 1996, $C_0 = 1.8g/l$)

부유농도와 침강속도와의 상관관을 나타낸 Fig. 8에서 침강속도는 부유농도의 증가와 함께 증가하는 것을 알 수 있고, 이것은 응집작용때문으로 보인다. Fig. 9는 Odd¹⁶⁾가 영국의 Severn 하구에서 측정된 부유농도와 침강속도와의 관계를 나타낸 것으로서 본 실험결과인 Fig. 8과 비교해 보면, 본 실험의 초기농도 범위(3 g/l이하)에서는 침강속도가 정성적 및 정량적으로 거의 일치함을 알 수 있다. 본 침강실험 결과를 침강속도의 일반적인 표현식 $W_s = kC^n$ 으로 나타내면, 초기농도 3 g/l의 경우 $n=1.06$ 이며, 1 g/l의 경우는 $n=1.33$ 으로서, 초기부유농도 변화율의 50%정도가 1m/hour의 침강속도를 가지고 있는 것으로 나타났다. 여기서 k는 상수로 큰 의미를 가지지 않는다. Table.1에 나타낸 기존 연구결과인 $n=1.1\sim 2.9$ 의 범위에 있어 본 침강실험에 신뢰성을 줄 수 있는 것으로 판단된다. 또한 초기농도 3 g/l의 침강칼럼 실험결과를 Rijn¹⁷⁾의 실험결과와 비교하여 나타낸 것이 Fig. 10으로, 여기에서는 간섭침강 영역은 나타나지 않았다. 그림에서 알 수 있듯이 낙동강하구 저지의 침강속도는 Avon-mouth머드보다는 작고, Demerara실트보다는 큰 값을 나타내고 있어 낙동강하구 퇴적물의 점착력은 실트질보다 크다는 것을 알 수 있다.

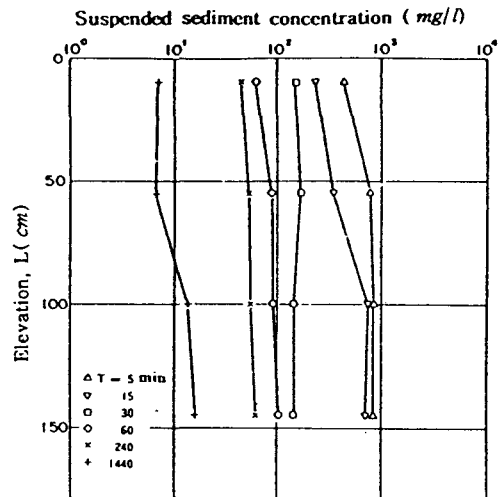


Fig. 7 Concentration profile(鶴谷, 1990, $C_0 = 1g/l$)

Table 1 Values of the exponent n in the formula

$$W_s = k C^n,$$

n	estuary	reference	remarks
1.1	Thames	Owen(1970)	spring tide
2.2	Thames	Owen(1970)	neap
1.37	Thames	Burt(1986)	
1.33	San Francisco	Krone(1962)	laboratory
1.29	Severn	Thorn(1980)	
2.92	Elbe	Puls(1986)	limnic
2.55	Elbe	Puls(1986)	brackish

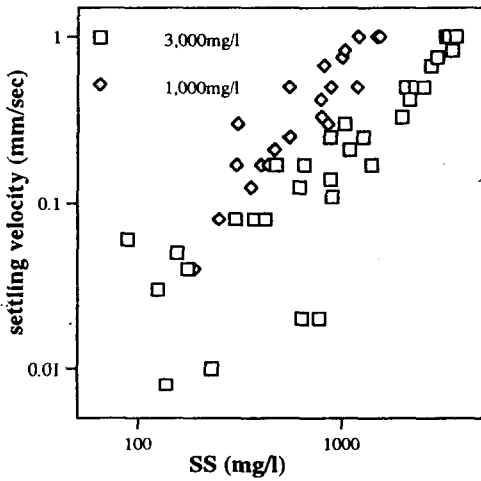


Fig. 8 Relation between SS concentration and settling velocity

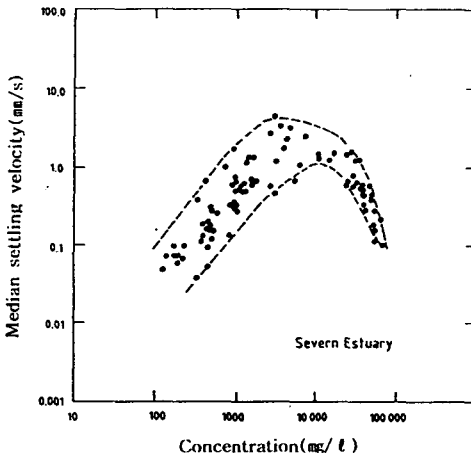


Fig. 9 Settling velocity versus mud concentration (Odd, 1972)

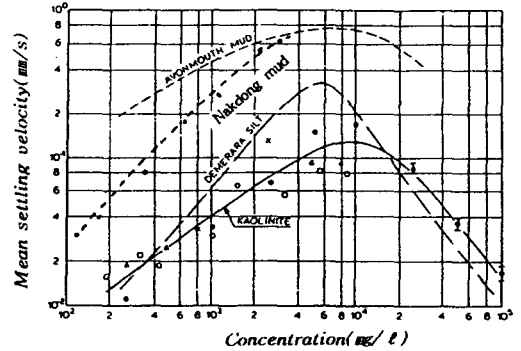


Fig. 10 Settling velocity as a function of concentration

침강속도 가적곡선으로부터 초기농도 1 g/l, 3 g/l에 대해 C/C_0 와 침강속도의 상관관계를 나타낸 것이 각각 Fig. 11, Fig. 12이며, Fig. 13은 초기농도 5g/l로 일본 운수성(1990)의 침강실험 결과이다. 본 실험의 결과인 초기농도 3g/l (Fig. 12)과 비교해 보면 지역적 특성에 의한 퇴적물의 입경과 초기농도의 상이로 인하여 정량적으로는 다소의 차이를 보이지만, 실험결과인 초기농도 1g/l, 3g/l 경우는 침강속도가 1 m/hour 부근에서 C/C_0 가 각각 50%, 40%의 값을, 일본 운수성 실험인 초기농도 5g/l 경우는 2 m/hour 부근에서 C/C_0 가 50%를 나타내고 있다. 이것은 침강속도의 크기 차이에 의한 것으로 보인다. 실제의 토립자의 침강속도는 floc의 형성에 의해서 입도분포로서 구한 침강속도보다 크게 되는 것을 알 수 있다. 또한 이들의 그림을 살펴보면 초기농도, 측정심도 및 측정시간에 따라 침강속도 가적곡선의 형상은 크게 변화하는데, 이것은 침강속도 가적곡선을 구할 때 침강속도가 시간적 및 공간적으로도 변화하지 않는다고 가정하고 있기 때문이다. 실제로 토립자는 침강중에 floc를 형성하고 있기 때문에 침강속도가 크게 변화하게 되며, 침강속도 가적곡선을 구할 때에는 이와 같은 현상을 고려하지 않기 때문에 가적곡선의 형상에 대한 편차가 크게 나타나는 것으로 생각된다.

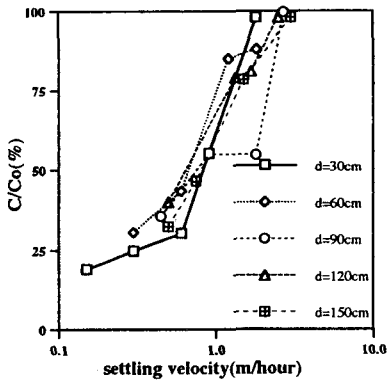


Fig. 11 Accumulation curve of settling velocity ($C_o = 1g/l$)

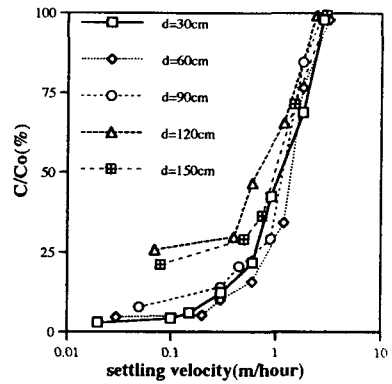


Fig. 12 Accumulation curve of settling velocity ($C_o = 3g/l$)

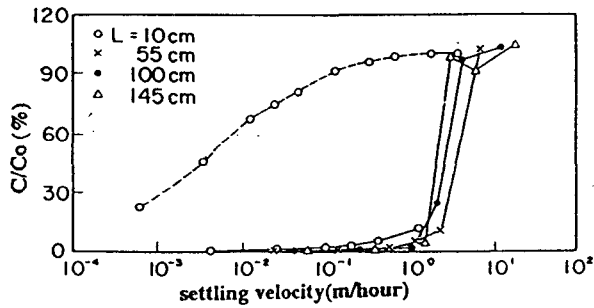


Fig. 13 Accumulation curve of settling velocity (日本運輸省, 1990, $C_o = 5g/l$)

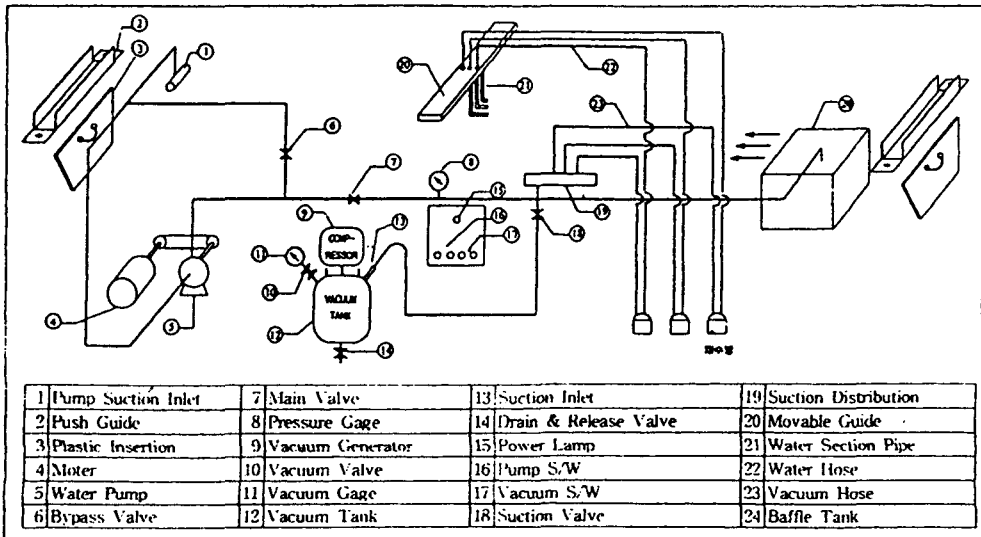


Fig. 14 Schematic diagram of experiment equipment

3.2 재순환 수로 실험

저니의 수송형태는 크게 2가지로 분류된다. 저니가 파랑이나 흐름에 의해 부상되어 수송되는 형태와 또 하나는 파랑과 저층의 상호간섭에 의해서 저니가 파랑의 진행방향으로 수송되는 형태이다. 본 실험은 흐름이 있을 때, 1차연구로서 저니의 재부상 등은 고려하지 않고, 유속 및 부유농도의 변화를 주면서 부유농도의 연직분포와 지점별 유속에 대한 농도변화를 규명하였다.

실험에 사용된 개수로는 길이 15m, 높이 50cm, 폭 60cm의 개수로 구간 내에 Fig. 14와 같은 별도의 5m의 고정상 실험장치를 설치하였다. 수심이 50cm로 일정하게 하여 baffle tank의 상단이 잠수되게 하였다. 정상상태의 흐름을 확인하기 위하여 2방향 전자유속계(ALEC, ACM200-A)와 프로펠러형 미소유속계(KENEK, VC-301)로서 유속을 비교검증하였다. 층별의 농도를 측정하기 위하여 흡입관 세트를 수조 레일의 채수위치, 즉 실험장치의 상류단으로부터 a(1.5m), b(2.5m), c(3.5m)의 수로 중앙부에 설치하였고, 유속과 농도분포의 시간적·공간적 변화를 파악하기 위하여, 저면으로부터 일정간격(10, 20, 30cm)으로 측정하였다. 사용된 시료는 침강수조 실험에서와 같은 시료를 사용하였고, 측정시간은 0, 10, 20, 30분이었다. 실험조건은 초기농도를 각각 50mg/l, 500mg/l로 하여 유속을 7, 15, 25 cm/s로 변화시키면서 실험을 행하였다. 또한 침강칼럼 실험결과와 비교검증을 위하여 농도가 균일하게 나타나도록 흐름을 발생시켜 순환시킨 후 정수상태에서 수로 중앙부에서 수면으로부터 10, 20, 30, 40cm 간격으로, 측정시간 5, 10, 20, 30, 60분으로 부유농도를 측정하였다. 三村 등¹⁸⁾에 의하면 Fig. 15와 같이 채수방법에 따라 나타나는 부유농도의 차이, 즉 사이폰에 의한 채수는 수조내의 유속과 사이폰내의 유속의 차이로 인하여 다소 낮은 부유농도를 나타내며, 또한 흡입관에 의한 채수는 상대적으로 저층에서 상당히 높은 부유농도를 나타냄을 알 수 있다. 따라서 채수방법에 따른 농도차에 대한 정량적인 검토가 필요한 것으로 본다.

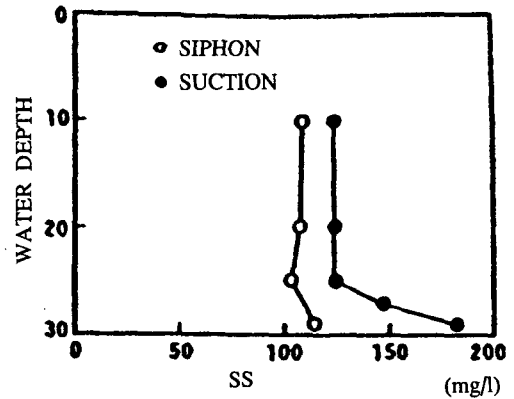


Fig. 15 Concentration difference with sampling method(三村,1989)

침강수조 실험에서 수행한 연직 부유농도의 시간적 변화와 비교검토하기 위해 실시한 개수로내의 정수중 실험 결과를 그림으로 나타낸 것이 Fig.16이다. 침강수조 실험결과인 연직부유농도분포의 시간적인 변화(Fig.5)와 비교해 보면, 수심이 칼럼에서는 180cm, 수로에서는 40cm이며, 또한 초기농도가 달라 수심 및 부유농도에 대한 상대적인 비교는 곤란하지만 정성적으로는 대체로 같은 연직농도분포를 나타내고 있다.

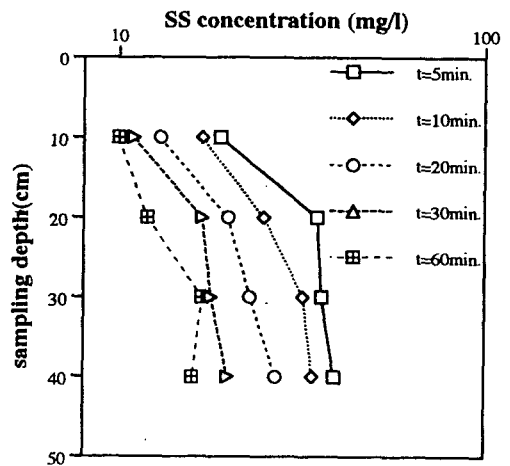


Fig. 16 Temporal variation of vertical distribution (SS)($C_0=50\text{mg/l}$, still water)

Krone¹⁹⁾은 1 l 메스실린더를 이용하였고, McLaughlin²⁰⁾은 높이 1.2m, 직경 9.5cm, Ross²¹⁾은 높이 2m, 직경 10cm 또한 일본 운수성항만기술연구소²²⁾는 높이 1.8m, 직경 10cm의 침강수조를 사용하여 침강실험을 실시하였으나, 수조의 높이나 직경에 따른 비교해석이 전혀 없으며, 또한 실험에 사용되는 수조의 크기 기준도 없는 실정이므로 동일시료로서도 제원이 다른 수조에서 실험한 결과를 정량적으로 비교하는 것은 곤란하다.

유속변화에 따른 부유농도의 변화를 살펴보기 위해 초기농도가 500 mg/l에 대해 유속이 각각 7, 15, 25 cm/s일 경우의 시간변화에 따른 부유농도변화를 나타낸 것이 Fig. 17이다. 일반적으로 초기농도에 관계없이 유속이 크면 부유농도의 감소율이 커지고 있는 점에서 일치된 현상을 발견할 수 있다.

또한 부유물의 초기농도 변화에 따른 침강특성을 살펴보기 위해 유속을 변화시키면서, 침강실험을 행한 결과를 시간에 대한 상대농도(C/C_0)로서 Fig.18에 나타내었다.

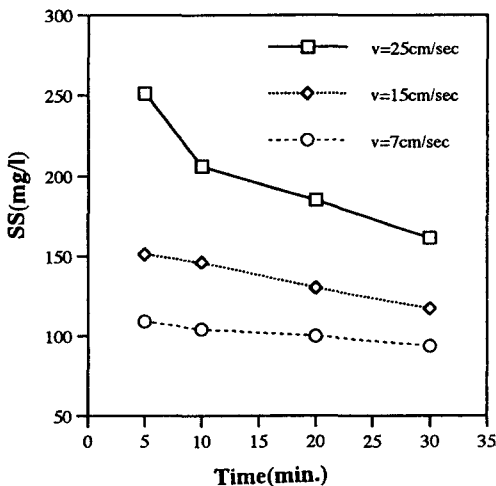


Fig. 17 Variation of SS concentration with current velocity($C_0=500\text{mg/l}$, flowing water)

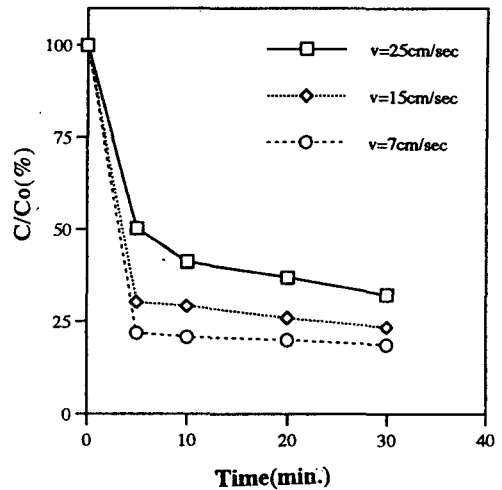


Fig. 18 Temporal variation of C/C_0 as a function of current velocity

여기서 C_0 는 초기농도로 500 mg/l이며, C 는 수로의 중앙지점 b에서 측정된 수심평균한 부유농도이다. 그림에서 보는 바와 같이 실험개시 5분후 유속이 25, 15, 7 cm/s의 경우 C/C_0 값이 각각 50%, 30%, 20%로서, 즉 50%, 70%, 80%의 농도가 변화한 것이다. 유속이 상대적으로 작게 되면 부유물의 침강이 빨리 진행됨을 알 수 있다. 그리고 그 이후의 변화는 10분을 지나면서 아주 완만한 침강이 진행되고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 낙동강 하구역에 분포되어 있는 mud로서 점착성퇴적물 이동과정에 중요한 파라메터로 작용하는 입자의 침강특성을 규명하기 위하여 수리모형실험을 실시하였다. 퇴적물의 침강특성과 연직부유농도분포의 변화특성을 파악하였으며, 주요 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 침강속도는 실지 토입자에서 flocc을 형성하고 있기에 큰 변화를 나타내고 있으며, 초기부유농도 변화율의 50%정도가 1m/hour의 침강속도를 가지고 있는 것으로 나타났다. 본 실험 결과를 부유농도와 침강속도와의 상관 표시형인 $W_s = kC^n$ 으로

나타내면, 초기농도 3g/l의 경우 $n=1.06$, 초기농도 1g/l의 경우는 $n=1.33$ 으로 산정되어, 타 연구 결과에서 나타난 $n=1.1\sim 2.9$ 의 범위에 있어 본 침강실험에 신뢰성을 줄 수 있는 것으로 사료된다.

2. 초기부유농도에 대한 각각의 유속변화에 따른 부유농도의 시간적 변화를 살펴보면, 초기농도 500mg/l에 대한 C/C_0 의 시간적 변화에 대해서는 5분 이내에 급격한 침강이 발생됨을 알 수 있었고, 유속이 상대적으로 작게 되면 부유물의 침강이 빨리 진행됨을 알 수 있었다. 그리고 그 이후의 변화는 10분을 지나면서 아주 완만한 침강이 진행되고 있어, 초기에 응집작용이 크게 작용하였음을 알 수 있었다.

3. 퇴적물의 침강속도는 퇴적물의 성분에 따라, 즉 시간적·공간적인 변화가 예상되므로, 퇴적물의 이동예측모형의 적용시 사용되는 경험식들의 검증 및 수정이 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) DSIR., "Estuary of the River Mersey", Water Pollution Res., Tech-Paper No.7, HMSO, 1938.
- 2) McLaughlin, R.T., "The settling properties of suspensions", ASCE, Vol.85, HY12, pp.9-41, 1959.
- 3) Krone, R. B., "Flume studies of the transport of sediment in estuarial processes", Final report, Hydraulic Eng. Laboratory and Sanitary Engineering Res. Laboratory, Univ.of California, Berkeley, 1962.
- 4) Migniot, C., "A study of the physical properties of different very fine sediments and their behavior under hydrodynamic action", La Houille Blanche, 7, 1968.
- 5) Owen, M. V., "A detailed study of the settling velocities of an estuary mud" Report No. int 78, H.R, Wellingford, United Kingdom, 1970.
- 6) Owen, M. V., "The effect of turbulence on the settling velocities of silt flocs", Proc. of

- 14 Congress of I.A.H.R., Vol.4, Paries, pp.27-32, 1971.
- 7) Leussen W van, "Laboratory experiments on the settling velocity of mud flocs." In: Wang SY, Shen HW, DingLZ(eds) Proceedings of the Third Int Symp on the River Sedimentation, School of Eng., Univ of Mississippi, pp.1803-1812
- 8) Mehta, A.J., "Cohesive Sediments in Estuarine Environment", Invited contribution to AGU Chapman Conference, Bahia Blanca, Aregentina, 1988
- 9) 전출 3)
- 10) Ross, M. A., "Vertical structure of estuarine fine sediment suspension", Ph.D. thesis, Univ.of Fla., Gainesville, 1988.
- 11) 鶴谷廣一, シルテーションによる港灣埋没の豫測手法, 港灣技術研究所講演會, 1989.
- 12) Thorn, M.F.C., "Physical processes of siltation in tidal channels", proc. Hydraulic modelling applied to maritime eng. problems, ICE, pp.47-55, 1981.
- 13) Leo C. van Rijn, "Sediment transport by currents and waves", Delft Hydraulics, Report H461, 1989.
- 14) 황규남, "미세·점착성퇴적물의 침강속도와 부유사농도의 관계", 한국해안·해양공학회 정기 학술강연회 발표논문 초록집, 1996.
- 15) 運輸省港灣技術研究所, "Siltation 對策技術 Guide", 1990.
- 16) Odd, N.V.M. and M. W. Owen, "A two-layer model of mud transport in the Thames estuary", paper 7517, Proc.int. Civil eng., 1972, pp.175-205.
- 17) 전출 12)
- 18) 三村信男·田中 智·加藤 始, "波による底泥の巻き上げ沈降flux", 海岸工學論文集, 第36卷, pp.309-313, (1989)
- 19) 전출 3)
- 20) 전출 2)
- 21) 전출 10)
- 22) 전출 14)