

부유물 침전을 고려한 준설투기장 설계의 적합성 평가

Suitability Evaluation of Containment Area Design Considering Suspended Solid Sedimentation

지 성 현¹⁾ · 김 찬 기²⁾ · 정 혁 상²⁾ · 천 병 식[†]

Jee, Sunghyun · Kim, Chanki · Jung, Hyuksang · Chun, Byungsik

ABSTRACT : In this study, grain size distribution of dredged soil and suspended solid distribution of supernatant in containment area were measured and compared with design prediction for suitability evaluation on prediction of suspended solid concentration of supernatant in conventional design of containment area. In addition to that, relationship were also analyzed between current velocity and suspended solid concentration of supernatant. Evaluation results show a relatively good agreement between field measurement and design prediction. On contrast, field measurement and design prediction show a quite different value each other in the early stage of dredging or at a point that current velocity increases. It is believed that this is due to that conventional design method of containment area does not account for ponding depth and current velocity which change sensitively with dredging period. Since current velocity and distribution of suspended solid concentration measured simultaneously show a similar trend, it is observed that there exists a close relationship between current velocity and distribution of suspended solid concentration. Therefore, a new design method for containment area, which can consider sedimentation of suspended solid that changes with interface height of dredged soil, ponding depth, current speed of supernatant, is necessary in order to predict the situation change of containment area more precisely.

Keywords : Containment Area, Current Speed, Dredged Soil, Supernatant, Suspended Solid

요 지 : 본 연구에서는 기존에 적용된 준설투기장 설계에서 준설투기장에서 배출되는 상등수의 부유물 농도 예측에 대한 적합성 평가를 위하여 실제 현장 준설 시 준설투기장 내에서 준설토의 입도분포 및 상등수의 부유물 농도 분포를 측정하여 설계 예측 값과 비교하였으며, 상등수의 유속과 부유물 농도와의 관계를 분석하였다. 평가 결과, 현장 측정값과 설계 예측값이 비교적 유사한 경향을 보였으나, 준설 초기 및 상등수 유속이 증가한 시점에서는 설계 예측값과 상이한 측정값을 보였다. 이는 기존에 적용된 준설투기장 설계법이 준설 기간에 따라 민감하게 변화하는 준설토의 침강 깊이 및 상등수의 유속 등을 반영하지 못하기 때문으로 판단된다. 또한 준설투기장에서 동시에 측정된 유속과 부유물 농도의 분포가 유사한 경향을 보이므로 상등수의 유속과 부유물 침전이 상당히 밀접한 관계가 있는 것으로 관측되었다. 따라서, 현장 준설투기장 상황 변화를 보다 정확히 예측하기 위하여 준설토 계면고, 침강깊이, 상등수 유속에 따라 변화하는 부유물 침전을 고려한 준설투기장 설계법이 필요하다고 사료된다.

주요어 : 투기장, 유속, 준설토, 상등수, 부유물

1. 서 론

최근 들어 주요 하천, 담수호, 저수지 등에 장기간에 퇴적된 토사 및 오염물질로 인하여 저수 및 배수 용량이 감소하고 수질오염이 문제되고 있는 바, 퇴적물 및 오염물의 제거의 필요성이 대두되고 있다. 이를 위하여 최근 4대강 살리기사업, 팔당호, 시화호 준설과 같은 대규모 환경 준설사업이 계획 또는 시행되고 있다. 이러한 준설사업의 준설투기장 설계는 준설토의 침강·자중압밀 특성 뿐만 아니라, 준설투기장 내 상등수의 부유물 거동까지 예측하여 준설투기장 배출수의 환경기준을 만족시키고, 아울러 배출수의 부유물

로 인한 환경영향을 최소화하는 것이 매우 중요하다.

지금까지 국내에서 준설투기장에서 준설토의 침강·자중압밀 거동 분석 및 예측에 대하여 많은 연구논문 및 현장 실험 연구들이 발표되었다(유건선, 2000; 유남재 등, 2002; 이승원 등, 2000). 그런데, 상등수의 부유물 농도를 고려하는 설계는 미공병단(USACE, 1987)에서 제시한 설계법을 적용하고 있을 뿐 현장 측정을 통한 예측값 분석 및 적합성 평가에 관한 연구 자료는 매우 드문 현실이다.

따라서 본 연구에서는 미공병단에서 제시한 준설투기장의 설계의 현장 적용 시 준설투기장내 상등수의 부유물 농도 예측에 대한 적합성 평가를 위하여 실제 현장 준설 시

1) 정희원, 현대건설(주) 기술/품질개발원 첨단산업기술연구부 차장

2) 정희원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정

† 정희원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

준설투기장 내에서 준설토의 입도분포 및 상등수의 부유물 분포를 측정하여 설계 예측 값과 비교하였으며, 또한 상등수의 유속과 부유물 농도와의 관계를 분석하였다.

2. 투기장 내 준설토의 거동에 관한 이론

토출구에서 배출된 고함수비의 준설토는 서로 다른 침강 퇴적현상을 보이며 입도분리가 발생한다. 토출구 주변에는 모래/자갈과 같은 조립토가 즉시 침강하여 사구를 형성하며, 토출구에서 여수토로 갈수록 세립분이 많이 함유되어 침강·자중압밀거동이 발생한다(이송 등, 1994; Imai, 1980). 이러한 입도 분리는 준설 투기 시 토출구의 위치 및 방향을 적절히 이동하면서 균질한 지반을 형성할 수 있다. 준설 시 투기장의 운용 개요는 그림 1과 같다.

준설토는 흙의 구조에 따라 침강속도가 결정될 뿐 아니라 침강 후 자중압밀 진행 시점에서 간극비-유효응력 관계, 간극비-투수계수 관계에 큰 영향을 받으며 시간 경과에 따른 자중압밀 침하가 발생한다. 이러한 침강·압밀 거동을 규명하기 위하여 실내에서 컬럼 또는 토조를 이용한 침강·압밀 실험이 제시되었다(USACE, 1987).

실트나 점토와 같은 세립토의 침강속도는 투기 시 준설토의 농도, 응집도, 이동속도, 침강기간 등의 다양한 요인에 의하여 영향을 받으므로, 실제 현장에서 준설 예정구역에 분포한 다양한 종류의 준설토 침강 거동을 예측하는 것은

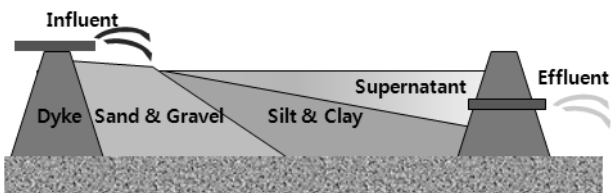
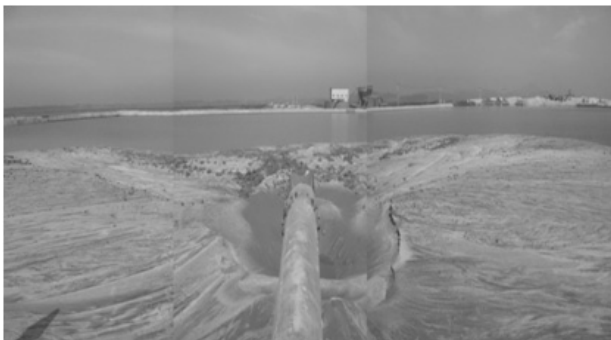


그림 1. 준설 시 투기장 운용 개요



(a) A현장



(b) B현장

그림 2. 준설투기장 전경

어렵다.

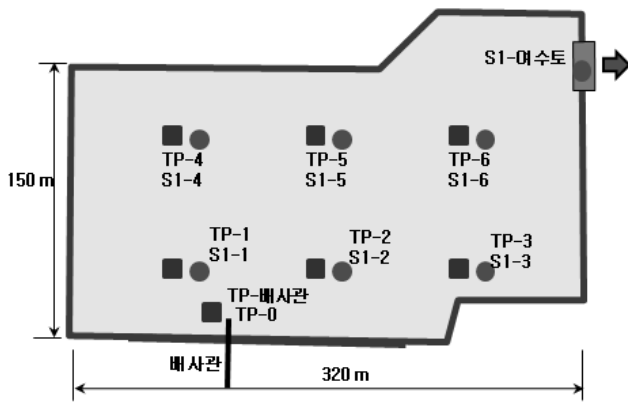
토립자가 응집된 경우는 토립자가 각각 개별 침강하는 속도에 비하여 매우 빠르며, 준설토의 침강속도는 토립자간의 농도 증가에 따라 증가하다가 어느 한계값 이상에서는 농도 증가에 따라 감소하는 경향이 있다. 저농도에서는 토립자간 충돌에 의한 간섭효과로 입경이 커진 플록을 형성하기 때문에 준설토의 토립자 농도의 증가는 침강속도의 증가를 유발한다(Mehta 등, 1989). 반면에 고농도의 준설토에서 침강속도는 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향이 있는데, 이것은 농도가 증가함에 따라서 준설토 내의 플록이 상호 근접하게 되어 침강 시 간섭이 발생하기 때문이다(Kynch, 1952).

3. 현장시험

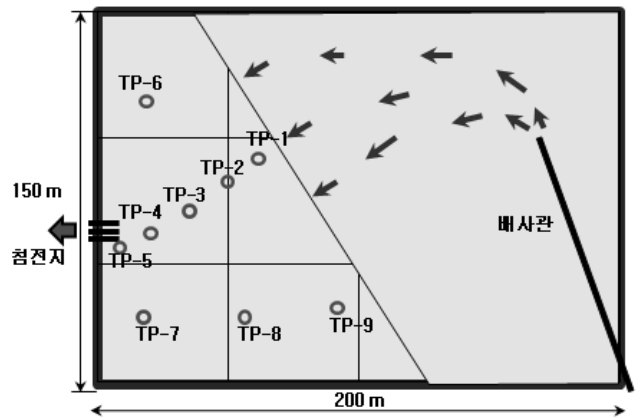
3.1 현장 개요

부유물을 고려한 준설투기장의 적합성 평가를 위한 현장 시험은 2개 현장에서 실시하였다. A현장은 충남 OO군에 위치하고 있으며 준설을 통한 오염 퇴적물 제거와 수질개선, 부지조성을 위한 성토재 공급이 사업목적이다. 준설구역은 부영양화 및 수질기준 IV등급 초과 등 수질개선이 필요한 상태이므로, 준설 작업 시 부유물 발생에 의한 수질오염 및 준설 투기장을 거쳐 침전지에서 배출되는 상등수의 수질 관리가 상당히 중요하다. 본 현장의 경우 최종 배출수의 목표 부유물 농도는 20mg/L 이하이다.

1단계로 투기장에 높이 3~4.0m까지 준설투기 후, 투기장에서 대부분의 준설토를 침강시킨다. 2단계로 침전지에서 미세 준설토 및 상등수의 부유물을 침전시켜 최종 배출수의 부유물 농도를 허용 기준이하로 유지하도록 설계되어 있으며, 필요 시 응집제와 같은 약품처리를 통하여 배출수질을 관리하였다. 따라서 현장의 준설투기장 설계는 미공병



(a) A현장



(b) B현장

그림 3. 준설투기장 평면도

표 1. 준설토의 공학적 특성

구분	비중	액터버그한계		USCS
		LL(%)	PI(%)	
A현장	2.69	23.7	NP	SM
B현장	2.62	NP	NP	SP

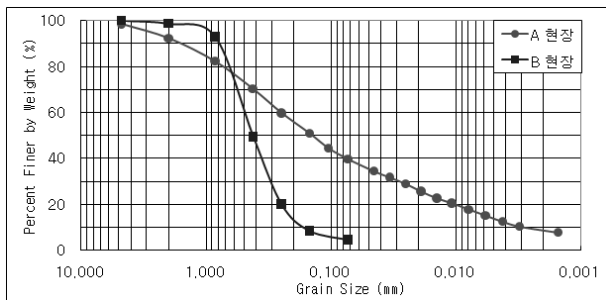


그림 4. 준설토의 입도분포곡선

단(USACE, 1987)에서 제안한 상등수의 부유물 침전을 고려한 설계법을 적용하였다(지성현 등, 2010).

경북 OO군에 위치한 B현장은 하도정비 및 치수안정성 확보를 위하여 준설투기를 실시하였으며, B현장도 A현장과 유사하게 3~4.0m 높이로 준설투기 후 배사지와 침전지에서 부유물을 침전시키고, 최종적으로 3중 오타방지막을 거치면서 배출수의 목표 부유물 농도 40mg/L을 만족시키도록 설계되었다.

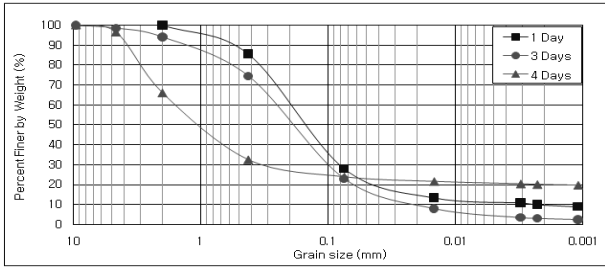
그림 2는 A, B현장의 준설투기장 전경이며, 현장시험 위치가 표시된 각 현장 투기장의 평면도는 그림 3과 같다. A현장의 경우 그림 3(a)에 표시된 투기장내 측정 TP-1~6, 토출구 및 여수도에서 상등수와 준설토 시료를 채취하였으며, B현장의 경우 그림 3(b)의 TP-1~9에서 상등수의 부유물 농도와 유속을 측정하였다. A, B현장의 준설토의 공학적 특성 및 입도분포곡선은 표 1, 그림 4에 나타내었다.

3.2 준설투기장 내의 준설토 입도분포

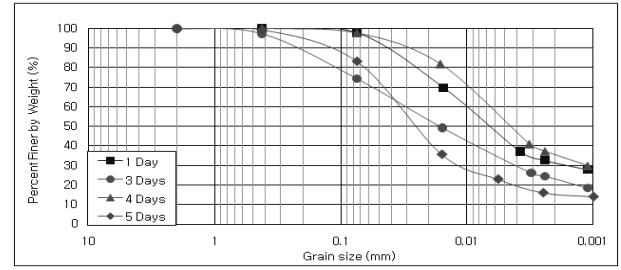
준설투기장 내의 준설토 입도분포는 A현장에서 측정하였으며, 투기 시작 후 총 4회에 걸쳐 시료를 채취하여 분석하였다. 준설토 시료 채취는 침강된 준설토 상단에서 튜브 샘플러 및 그래프샘플러를 이용하였고, 입도분포는 시험실에서 체분석 및 비중계시험을 수행하여 구하였다.

준설투기간에 따른 각 측정점 준설토 입도분석 결과는 그림 5와 같으며, 이 결과를 이용하여 분석한 배사관 토출구로부터의 거리별 준설토의 세립분(#200체 통과량) 및 점토(0.002mm 이하) 함유율은 그림 6에 정리하였다. 토출구와 측정점간의 거리는 현장 여건상 준설투기가 진행됨에 따라 배사관 토출구의 위치 및 준설토의 흐름이 변경된 관계로 측정 당일 투기장내 준설토의 이동 경로를 고려하여 산정하였다. 그림 6(a)를 보면 모래·자갈은 대부분 투기 즉시 침강하여 사구를 형성하였고, 토출구로부터 100m 이상 이격된 구간에서는 준설토의 #200체 통과량이 100%로 측정되었다. 그림 6(b)에서는 입경 0.002mm 이하 점토는 상등수의 흐름에 따라 이동하면서 침강하므로 토출구와의 거리가 멀수록 일정 비율로 함유율이 증가하였다.

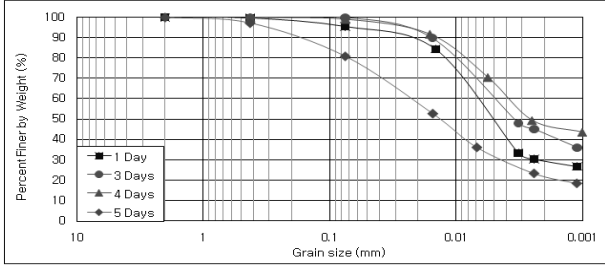
그림 7은 준설투기 기간별 준설토 입도분포를 준설투기장 평면도에 도시하였다. 분석방법은 각 위치에서의 기간별 점토 함유율 측정 결과를 바탕으로 보간법(kriging method)으로 하였다. 배사관 토출구의 위치 및 준설토의 흐름에 따라 준설토의 점토 함유율도 변하였는데, 준설투기 3일 경과 시의 경우 준설토가 투기장 좌측 토체를 따라 빠르게 흘러가면서 토출구로부터 약 100m 구간까지는 점토 함유율이 낮게 측정되었으며, 투기장 내부에서 상등수의 흐름이 느린 영역과 최종적으로 상등수가 배출되는 여수도 부근의 점토 함유율이 약 45% 이상으로 높게 분포하였다.



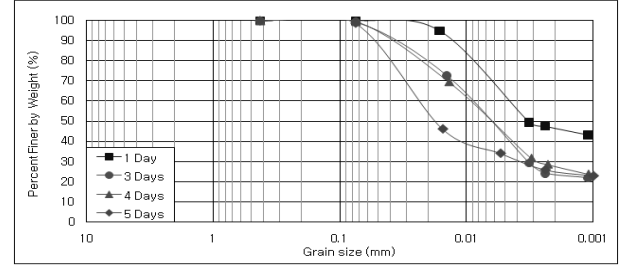
(a) TP-1



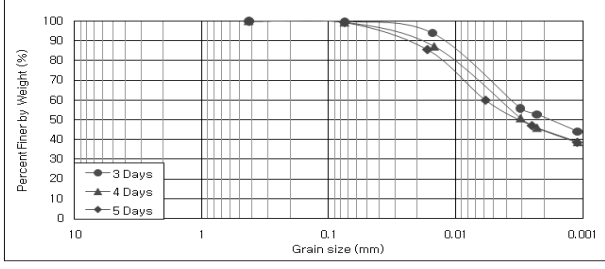
(b) TP-2



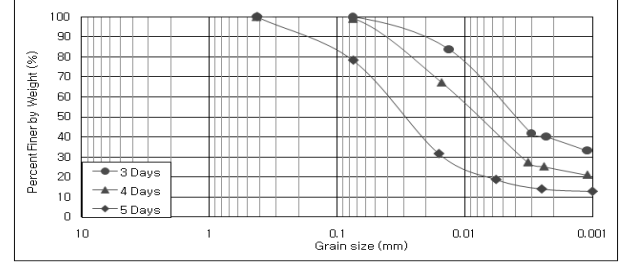
(c) TP-3



(d) TP-4

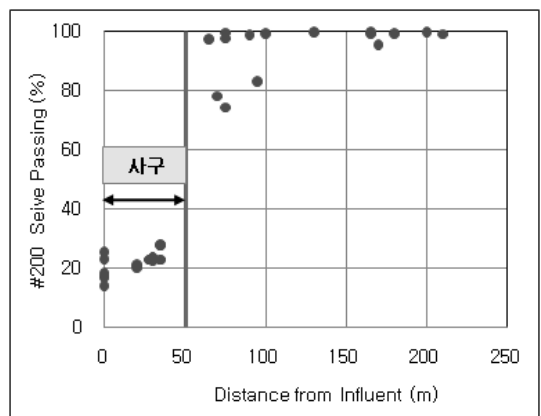


(e) TP-5

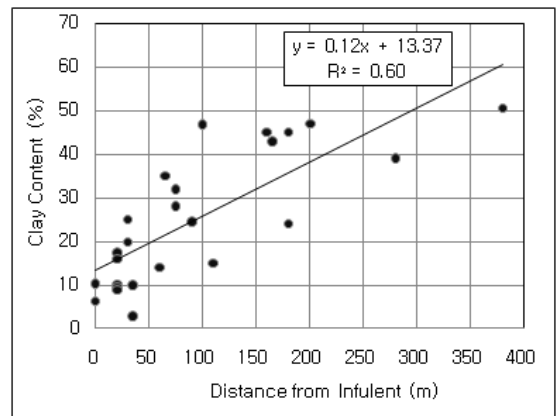


(f) TP-6

그림 5. A현장의 준설기간에 따른 측정별 준설토 입도분포곡선



(a) #200체 통과량



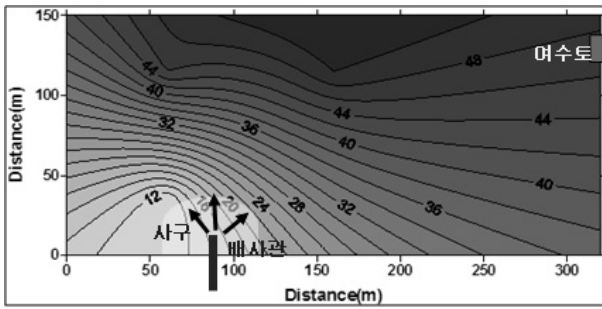
(b) 점토 함량

그림 6. A현장의 거리별 준설토 입도분포

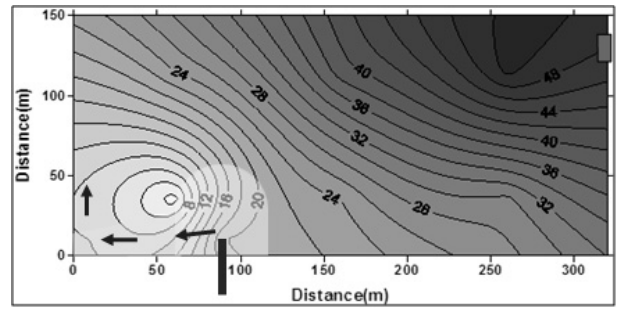
3.3 상등수의 부유물 농도 분포

준설 시 상등수의 부유물 농도 측정은 A, B현장에서 수행하였다. A현장의 경우 준설토 입도분석과 동일하게 총 4회에 걸쳐 수행되었으며, 현장에서 상등수의 시료를 채취하여

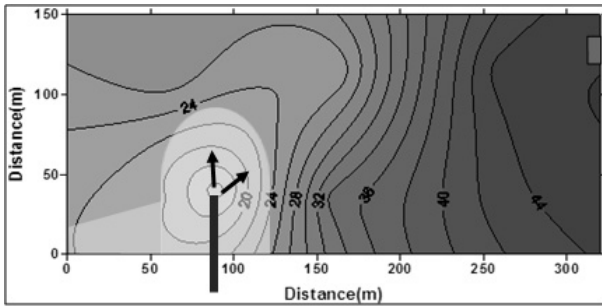
분석하였다. 상등수의 시료채취는 그림 8과 같이 튜브샘플러를 이용하여 측정마다 수심 50cm에서 샘플을 각 200mL씩 채취하였으며, 부유물 농도는 시험실에서 유리섬유 여지법으로 측정하였다. B현장의 경우는 상등수의 유속과 동시에 측정하기 위해 그림 9와 같은 전자식 탁도계를 사용하여



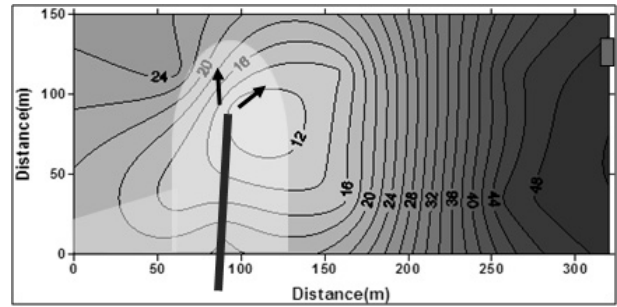
(a) 1일 경과



(b) 3일 경과



(c) 4일 경과



(d) 5일 경과

그림 7. A현장의 준설기간별 0.002mm 이하 점토 함유율 분포(%)



그림 8. 튜브샘플러를 이용한 상등수 샘플채취

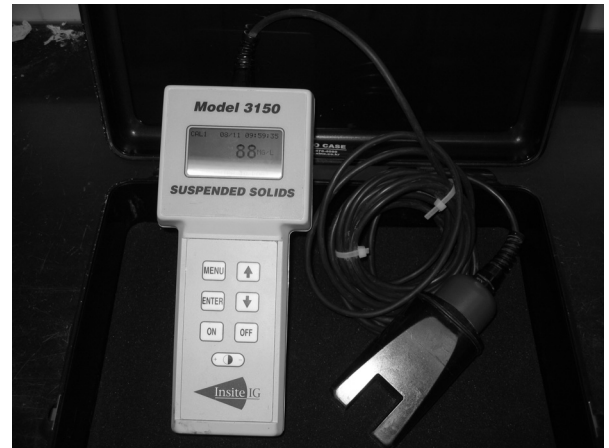


그림 9. 부유물 농도 측정을 위한 전자식 탁도계

부유물 농도를 측정하였다.

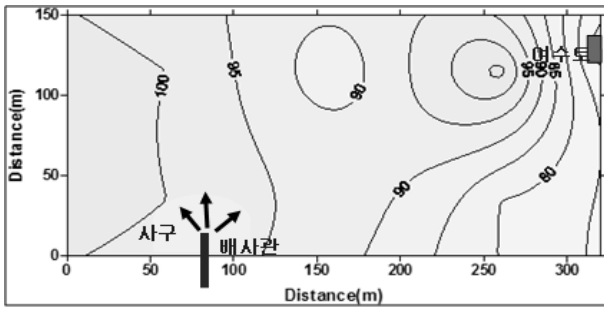
A현장의 측정결과는 그림 10, 11에 정리하였다. 준설기간별 상등수의 부유물 농도는 준설기간이 경과됨에 따라 전반적으로 부유물 농도가 증가하는 경향을 보였는데, 준설투기 시 준설토의 계면고가 상승하면서 침강허용깊이(H_{pd})가 감소하기 때문으로 판단된다.

그림 11은 토출구로부터의 거리별 상등수 부유물 농도를 나타낸 것이다. 토출구와 측정점간의 거리는 준설토 입도분석과 마찬가지로 투기장내 준설토의 이동 경로를 고려하였다. 준설토가 투기되어 여수토까지 이동하면서 토사 및 부유물의 침강이 진행되어 토출구로부터 거리가 멀어질수록 상등

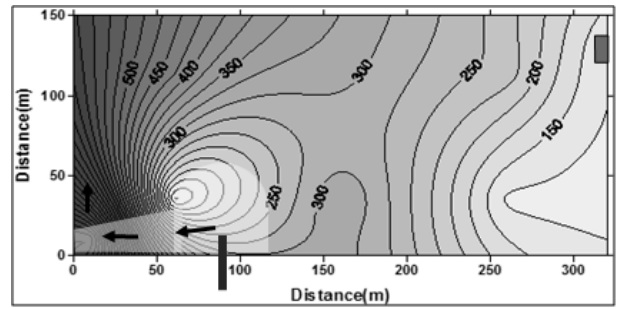
수의 부유물 농도가 감소하였다.

준설시작 1일 경과 시에는 준설 초기인 관계로 거리에 관계없이 비교적 낮은 부유물 농도를 보였으나, 준설 투기가 진행되면서 투기된 준설토의 계면고가 높아질수록 전반적인 상등수의 부유물 농도가 증가하였다. 이 원인은 계면고가 상승하여 수면과 가까워지면서 여수토 방향으로 흘러가는 상등수의 유수단면적이 감소하였고, 유수단면적이 감소함에 따라 상등수의 유속이 증가되어 부유물의 침강이 지연되었기 때문으로 사료된다.

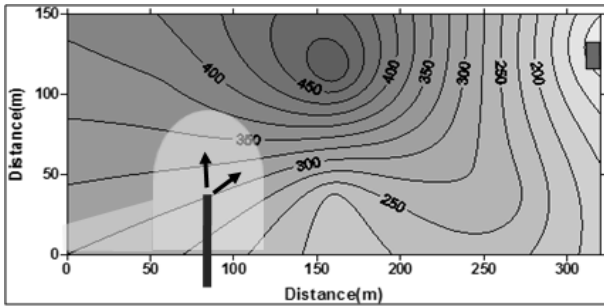
준설투기 3일 경과 시에는 준설토의 흐름을 투기장 좌측 토제로 유도하면서 토출구로부터 약 200~300m까지의 구



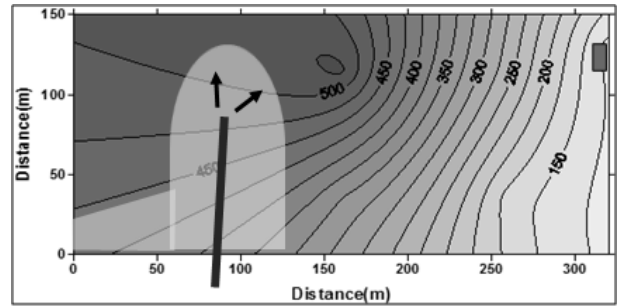
(a) 1일 경과



(b) 3일 경과



(c) 4일 경과



(d) 5일 경과

그림 10. A현장의 준설기간별 상등수 부유물 농도(mg/L) 분포

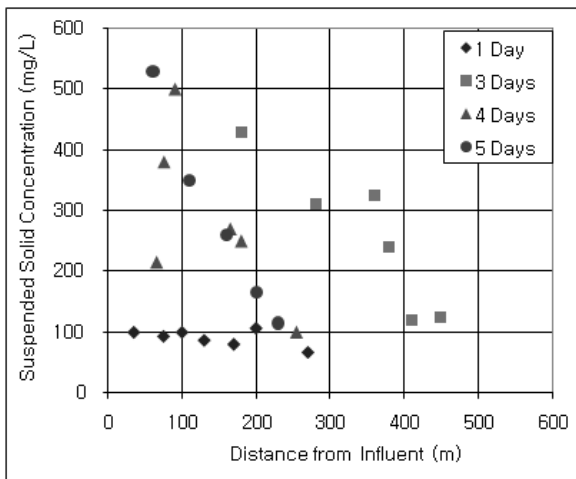


그림 11. A현장의 거리별 상등수 부유물 농도(mg/L)

간에서 토제를 따라 빠른 유속이 발생하여 상등수의 흐름에 따라 이동하는 부유물이 침전되지 못하였으며, 투기장 내에서 상등수의 유속이 부유한계유속 이상으로 증가한 구역에서 기 침전된 부유물의 재부유 현상까지 발생하여 전반적으로 부유물 농도가 높게 측정되었다. 따라서 준설투기장 운영 시 상등수의 유속을 전 구간에 걸쳐 최대한 일정하게 관리하는 것이 효과적이라고 판단된다.

그림 12는 B현장에서의 준설 시 상등수 부유물 농도 분포 결과이다. 측정 시 준설투기장의 50% 정도가 기 준설된 모래로 채워지면서 사구를 형성한 관계로 전반적으로 부유물 농도가 높게 측정되었으며, 준설토가 사구로부터 흘러나와 여

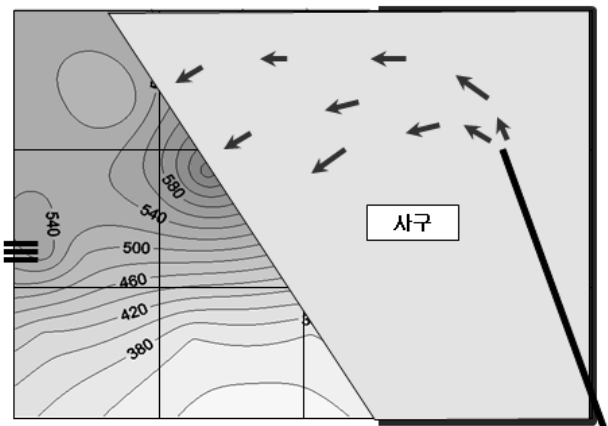


그림 12. B현장의 상등수 부유물 농도(mg/L) 분포

수토로 이동하면서 침전이 진행되어 부유물 농도는 680mg/L에서 500mg/L로 감소하였다. 또한 투기장내에서 준설토의 흐름이 적은 하단부에서는 부유물 농도가 비교적 낮게 측정되었으며, 여수토 부근에서는 부유물 농도가 540mg/L 이상으로 다소 증가하는 경향을 보였다.

3.4 상등수의 유속 측정

상등수의 유속 분포는 B현장에서 측정하였으며, 측정은 부유물 농도 측정과 동일한 지점에서 동시에 수행되었다. 유속 측정은 광센서를 이용한 프로펠러식 유속계를 사용하였으며, 측정에 사용된 유속계 및 현장 측정 장면은 그림 13과 같다.

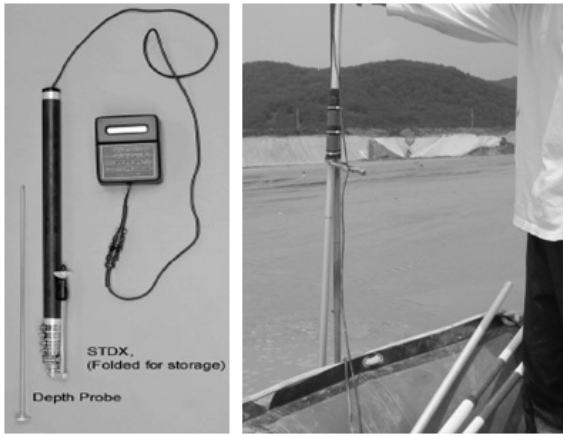


그림 13. 유속계 및 현장 측정 장면

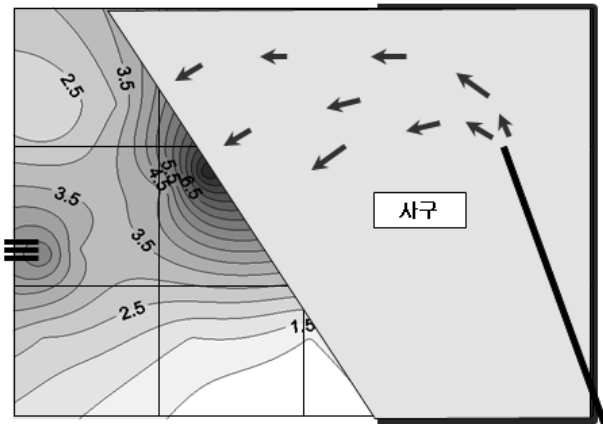


그림 14. B현장의 상등수 유속(cm/sec) 분포

준설 시 투기장내 상등수의 유속분포는 그림 14에 도시하였다. 사구로부터 5m 지점에서의 유속은 약 9cm/sec로 측정되었고, 40m 지점에서는 3cm/sec로 감소하였다. 여수로 부근에서는 유속이 4cm/sec 이상으로 증가하였는데, 본 현장 여건상 상등수가 월류방식의 여수토가 아닌 강관을 통하여 배출되는 관계로 통수단면이 급격히 감소되면서 부분적으로 유속이 증가한 것으로 판단된다.

4. 설계의 적합성 평가

4.1 현장 부유물 농도와 설계 예측값 비교

A현장에 적용된 준설투기장 설계의 적합성을 평가하기 위하여 현장시험에서 구한 상등수 부유물 농도 분포를 설계에서 산정된 예측 값과 비교하였다. 준설투기장 설계에서 토출구와의 거리별 부유물 농도 산정 시 현장 준설투기장의 폭 150m를 적용하였으며, 현장에서 준설투기가 진행되면서 투기장 내 준설토의 계면고가 상승하는 현황을 고려하여 침강깊이(수면과 계면고까지의 수심)의 변화를 0.6~2.0m까

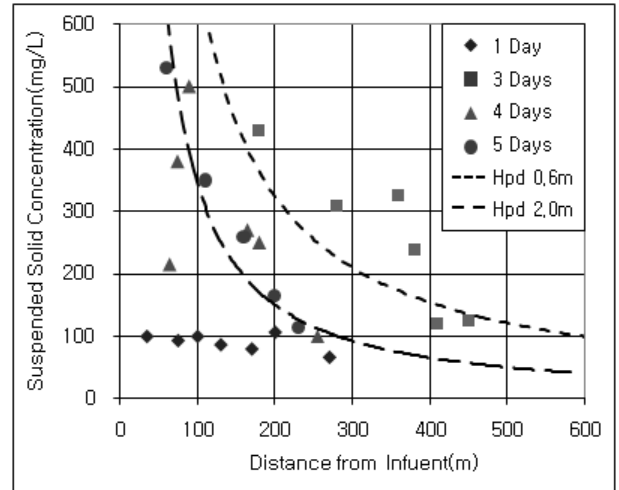


그림 15. A현장의 상등수 부유물 농도 분포와 설계 예측값 비교

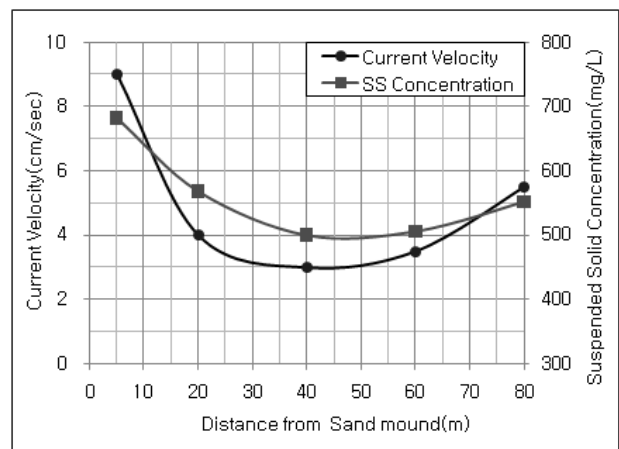


그림 16. B현장의 거리별 상등수의 유속과 부유물 농도

지 고려하여 그림 15와 같이 비교하였다.

준설투기 4, 5일 경과 시 측정결과와 비교하여, 현장 측정값과 설계 예측값이 비교적 유사한 경향을 보였다. 그러나 준설투기 1일 경과 후에는 준설 초기인 관계로 계면고가 낮아 침강 깊이가 크므로 전반적으로 낮은 부유물 농도를 보였고, 준설투기 3일 경과 시점에서는 준설토의 흐름을 투기장 좌측 토제로 유도하여 유속이 부유한계 유속 이상으로 빠르게 형성되면서 설계 예측값 보다 큰 부유물 농도가 측정되었다고 판단된다. 이 결과는 기존 준설투기장 설계법이 준설 기간에 따라 민감하게 변화하는 침강 깊이 및 유속을 반영하지 못하기 때문으로 판단된다.

4.2 상등수의 유속과 부유물 농도 비교

상등수의 유속과 부유물 농도와의 관계를 분석하기 위하여 B현장의 동일 지점에서 동시에 측정된 유속과 부유물 농도를 그림 16과 같이 비교하였다. 사구로부터 40m 지점까지 유속과 부유물 농도 모두 감소하는 경향을 보였으며, 여

수토 부근에서 유속이 증가에 따른 준설토의 재부유 현상이 발생하면서 부유물 농도가 증가하여 전반적으로 유속과 부유물 농도의 변화 추세가 상당히 유사한 경향을 보이므로 유속과 부유물 침전이 상당히 밀접한 관계가 있다고 판단된다. 또한 그림 9, 10의 투기장내 준설 시 부유물 농도와 유속분포를 비교하여도 비슷한 경향을 보였다.

따라서, 준설 투기장에서의 상등수 부유물 거동을 보다 정확히 예측하기 위하여 준설기간 중에 변화되는 준설토 계면고, 침강깊이, 상등수 유속 등이 투기장 설계에 반영되어야 하며, 이를 위하여 기존 준설투기장 설계법에 대한 보완 또는 새로운 설계법이 필요하다. 또한 이와 같은 상등수 부유물에 대한 거동 예측은 현장 적용 시 준설 투기장에서 방류되는 상등수의 목표 부유물 농도 유지 및 부유물로 인한 환경 영향을 최소화하는 투기장 운영을 위해서도 중요하다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 준설투기장 배출수의 부유물 농도를 고려한 준설투기장의 설계에 대한 검증에 위하여 실제 현장 준설 시 준설투기장 내에서 준설토의 입도분포 및 상등수의 부유물 분포를 측정하여 설계 예측 값과 비교·분석하였으며, 상등수의 유속과 부유물 농도와의 관계를 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 준설투기 시 투기장 내의 준설토 입도분포를 측정한 결과, 준설토 중 조립질은 대부분 투기 즉시 침강하여 사구를 형성하였다. 점토는 상등수의 흐름에 따라 이동하여 토출구와의 거리가 멀수록 일정 비율로 함유율이 증가하였으며, 특히 여수토 부근에서는 함유율이 약 45% 이상으로 높은 분포를 보였다.
- (2) 준설투기 시 투기장 상등수의 부유물 농도와 유속은 토출구로부터 거리가 멀어질수록 감소하였으며, 준설이 진행되면서 투기된 준설토의 계면고가 높아질수록 전반적인 부유물 농도가 증가하였다. 여수토 부근에서는 상등수의 유속이 증가함에 따라 부유물 농도도 부분적으로 높게 측정되었다.
- (3) 상등수의 부유물 농도에 대한 현장 측정값과 설계 예측

값은 비교적 유사한 경향을 보였으나, 준설 초기 및 상등수 유속이 증가한 시점에서는 부유물 농도가 설계 예측값과 50~300% 이상 상이하게 측정되었다. 이는 기존 준설투기장 설계법이 상등수의 부유물 침전 거동에 큰 영향을 미치는 침강 깊이 및 유속의 변화를 반영하지 못하기 때문으로 판단된다.

- (4) 상등수의 유속과 부유물 농도를 비교한 결과, 상호간의 변화 추세가 전반적으로 유사한 경향을 보이는 바, 상등수의 유속이 부유물의 침전에 매우 중요한 영향을 미치는 것으로 분석된다.
- (5) 따라서, 현장 준설투기장에서 배출되는 상등수의 부유물 농도를 보다 정확히 예측하려면 준설기간에 따라 점차적으로 변화하는 준설토 계면고, 침강깊이, 상등수 유속을 반영할 수 있는 준설투기장 설계법이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 유건선(2000), 해상 점토를 이용한 준설매립토의 침하해석 및 투기장 설계, *초연약 준설매립지의 특성 및 지반개량기술 특별세미나 논문집*, 현대건설(주), pp. 23~53.
2. 유남재, 박병수, 김근수(2002), 고탍수비 준설매립토의 구성 관계획득을 위한 역해석기법, *대한토목학회논문집*, Vol. 22, No. 1-C, pp. 21~31.
3. 이송, 양태선, 황규호(1994), 준설매립점토의 자중압밀특성에 관한 연구, *대한토목학회논문집*, Vol. 14, No. 4, pp. 953~963.
4. 이승원, 지성현, 유석준, 이영남(2000), 준설매립지반의 침강·압밀거동, *한국지반공학학회논문집*, Vol. 16, No. 4, pp. 149~156.
5. 지성현, 허병주, 천병식(2010), 부유물 침전을 고려한 준설투기장 설계에 관한 연구, *한국지반환경공학회 논문집*, Vol. 11, No. 8, pp. 57~63.
6. Imai, G.(1980), Settling Behavior of Clay Suspension, *Soil and Foundations*, Vol. 20, No. 2, pp. 61~77.
7. Kynch, G. J.(1952), A Theory of Sedimentation, *Transaction Faraday Society*, Vol. 48, pp. 166~176.
8. Mehta, A.J., Hayter, W.R., Parker, R.B., Krone, R.B. and Teeter, A.M.(1989), Cohesive Sediment Transport I: Process Description, *Journal of Hydraulic Eng.*, ASCE, Vol. 115, No. 8, pp. 1076~1093.
9. USACE(1987), *Confined Disposal of Dredged Material(EM1110-2-5027)*, US Army Corps of Engineers, Washington D.C., pp. 39~62.

(접수일: 2010. 8. 13 심사일: 2010. 8. 18 심사완료일: 2010. 9. 1)