

준설토 매립지반에서 가토제 규모 설계 방법



현대건설 기술개발원 부장
토질 및 기초기술사
심 동 현

1. 개요

지금까지 우리나라에서는 주로 산토를 매립재로 사용하여 왔는데 대규모 매립공사에서는 충분한 양의 토사 확보가 어렵고 무분별한 토취장 개발로 인한 산림 훼손으로 문제점이 많았다. 따라서 최근에는 임해지역의 매립공사를 중심으로 산토 대신 항만 시설물 건설과 수심확보를 위한 준설작업으로 생기는 해성 점토를 이용한 매립이 활발히 진행되고 있다.

해성 점토를 이용한 매립지반은 미리 설치된 가토제(Containment Dyke) 내에 펌프준설선으로 액상의 이토를 매립한 후 적절한 지반개량을 하여 조성되는데 일반 매립과 달리 준설토의 특성을 충분히 파악하고 적절한 매립계획을 세우는 것이 필수적이다. 또한 매립재의 특성상 가토제 축조가 선행되어야 하는데, 본 고에서는 준설토의 특성을 고려한 가토제 규모 결정 방법을 소개하고자 한다.

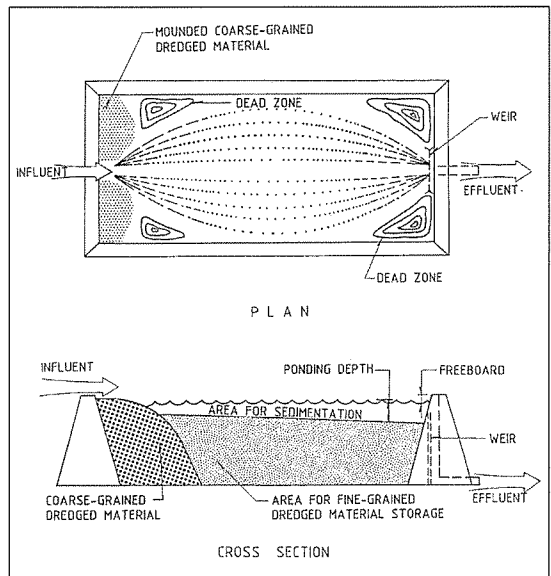


그림 1. 준설토 매립 개념도

2. 매립계획 수립

매립계획의 수립을 위해서는 우선적으로 준설 지역 및 매립지의 지반조사와 준설점토의 제반 특성을 파악하기 위한 실내시험이 선행되어야 하며 이러한 조사 및 시험 결과를 바탕으로 가토제 규모 및 시공계획이 수립되어야 한다.

여기에는 펌프준설선(Cutter Suction Dredger)으로 준설토를 가토제 내에 배토하였을 때 필요한 용적산정 즉, 면적과 토제 높이 결정 및 Weir설치 계획이 포함되는데 이때 고려되어야 할 사항들은 다음과 같다.

- 1) 매립지역의 원지반 조건
- 2) 준설토 입경과 입도분포
- 3) 준설선의 성능 및 작업공기
- 4) 유출토의 부유입자(Suspended Solids) 함유량 요구 조건 등

3. 지반 조사

공사 규모 및 중요도에 따라 조사 항목 및 범위가 결정되나 통상 준설할 지역과 가토제가 축조될 매립지에 대하여 다음의 조사를 진행한다.

- 1) 시추조사
- 2) 시료 샘플링
 - 그라브 샘플링
 - 트위스트 샘플링
 - 피스톤 샘플링
- 3) 현장시험
 - 현장배인시험
 - 콘관입시험
- 4) Water sampling (염도측정)

4. 실내 시험

실내 시험은 매립지반의 지반공학적 거동 규명 및 준설토의 특성 파악을 위하여 다음의 시험들을 실시한다.

4.1 원지반 토사의 특성시험

- 자연함수비 측정시험
- 입도분포시험
- 아터버그 한계시험
- 비중시험
- 압밀시험
- 강도시험, 등

4.2 침강시험

침강시험은 준설 계획을 수립하기 위해 필요한 자료를 얻기 위한 시험으로 실제 준설작업시 예상되는 준설토의 침강특성을 예측할 수 있다.

• 시험 절차

- 1) 시험기구 준비 (그림2 참조)
- 2) 시료를 원하는 입자함유율(Solid Concentration)에 맞춰 혼합한다.

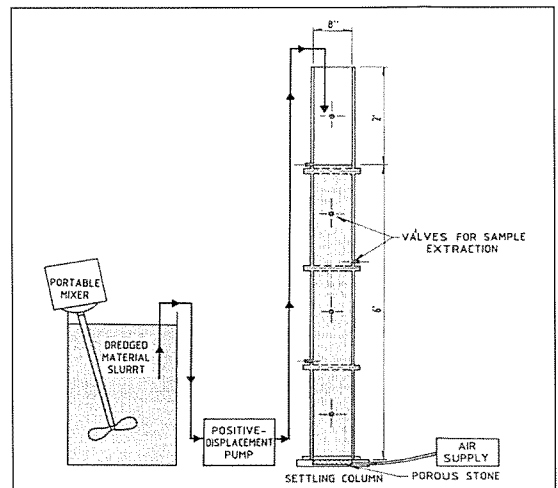


그림 2. 침강시험기 개념도

- 시험 입자함유율 : 60~200 g/l 범위

- 3) 공기를 공급시키면서 교반된 준설토를 Settling column에 붓는다.
- 4) 시간의 경과에 따라 Sediment와 물의 경계면 까지 깊이를 기록하여 관계곡선을 작성한다.
- 5) 최소 8개의 다른 입자함유율에 대해 시험을 수행하여 침전속도와 입자함유율의 관계곡선을 작성한다.
- 6) 8개 시험중 하나는 입자함유율을 약 145 g/l로 하여 15일간 시험을 수행한다.

4.3 입자 함유율(Solid Concentration)

입자함유율은 물속에 포함된 흙입자(Solid)의 양을 의미하는데 다음과 같은 방법으로 표시될 수 있다.

$$C = W_s / V_t \quad : \text{g/l}$$

$$C = (W_s / W_t) \times 100 \quad : \text{\% by weight}$$

여기서, W_s : 흙의 건조중량

V_t : 흙의 체적

W_t : 흙의 무게

5. 매립지 가토제 규모 설계

가토제 규모 설계시 염두에 두어야 할 사항은 Solid Carrier의 특성 즉, 담수 혹은 해수에 대한 구분과 공기이다. 준설될 물량에 비해 공기가 충분하다면 준설토의 압밀을 고려한 설계가 이루어질 수 있으므로 토제 높이의 축소를 가져올 수 있을 것이다. 여기서는 처리해야 할 소정의 준설토량을 편의상 1회의 공정으로 가토제 내에 매립한다고 가정했을 때 가토제 규모를 결정하는 방법을 소개하고자 한다. (그림 3 설계 흐름도 참조)

5.1 설계에 필요한 자료

- 1) 준설될 원지반 토사의 물량
- 2) 준설될 원지반 토사의 특성치

$$e_i = w \cdot G_s / S$$

여기서, e_i : 원지반 간극비

w : 함수비

G_s : 흙입자의 비중

S : 포화도

- 3) 시공일반 자료

- 사용할 준설선의 특성에 대한 자료
- 시간당 준설량
- 준설토가 파이프에서 배출될 때 평균입자함유율 (Data 없을 때 145 g/l 사용)

- 4) 침강시험 결과

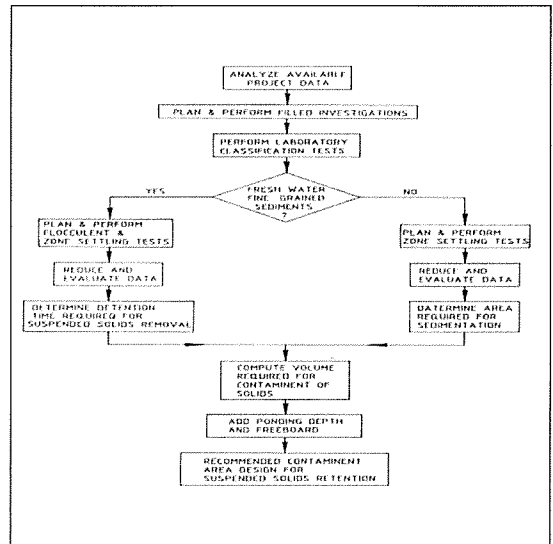


그림 3. 가토제 설계 흐름도

5.2 소요 매립면적 검토

(1) Design Concentration(Cd) 결정

Design Concentration은 준설작업이 끝난 시점에서 가토제 내부에 매립되어 있는 준설토의 입자함유율을 의미하는데, 침강시험에서 전체 준설공기의 절반시점에 Test Column 안에 있는 Sediment의 건조밀도를 구하면 된다.

• Design Concentration 구하는 법

- a) 15일 침강시험에서 시간에 대한 Concentration 값을 구한다. (표1 참조)
- b) 시간과 Concentration 관계를 대수지에 plot 한다. (그림4 참조)
- c) 2)에서 Plot한 점들을 직선으로 연결한다.
- d) 준설 작업공기(T)를 산정한다.

T = 원지반 준설토체적/펌프선의 시간당 준설용량

- e) 위에서 작성한 그래프로부터 0.5T에 대응하는 Concentration이 설계값이 된다.

(2) Design Solid Loading 결정

구하는 방법은 표 2, 그림 5 참조

(3) 소요 면적(A) 계산

$$A = Q_i \cdot C_i / S_d$$

여기서, Q_i = 가토제 내로의 준설토 유입량(ft³/hr)

$$= A_p \cdot V_d$$

A_p = 준설 파이프 단면적 (ft²)

V_d = 가토제 내로의 준설토의 유입속도 (ft/sec)

= 15 ft/sec (자료 없을 때 적용)

C_i = 가토제 내로 유입하는 준설토의 입자 함유량 (lb/ft³)

= 145 g/l (자료 없을 때 적용)

(4) 면적증가 계수 (α)

침강시험에서의 실제 준설매립 과정에서의 Sediment

표 1. 15일 침강 시험시 시간별 Concentration 값

Time(Day)	Concentration(g/l)	Time(Day)	Concentration(g/l)
1	192	6	272
2	215	8	280
3	219	10	290
4	240	15	320
5	251		

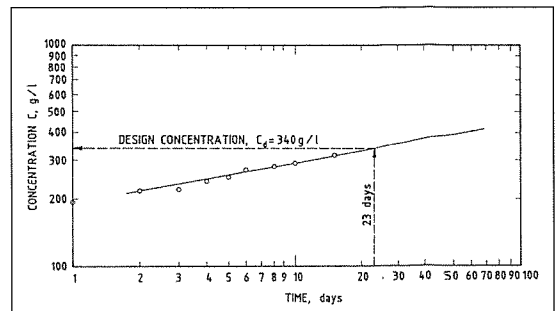


그림 4. 시간과 Concentration의 관계그래프

표 2. Solids Loading Values의 계산에

Suspended Solids Concentration			Zone Settling Velocity	S = V _s · (C) Solids Loading
(g/l)	(%)	(lb/ft ³)	(ft/hr)	(lb/hr-ft ²)
65	6.1	4	1.15	4.60
80	7.4	5	0.88	4.40
160	14.2	10	0.23	2.30
240	20.4	15	0.66	0.87
320	26.0	20	0.02	0.29
400	31.2	25	0.004	0.09

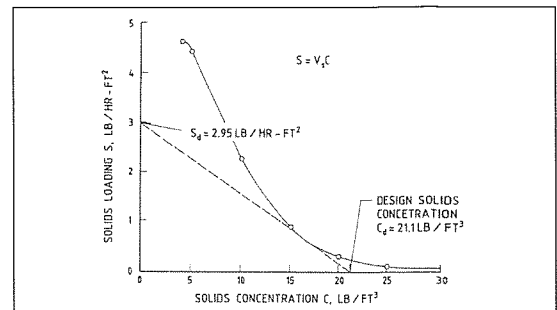


그림 5. Solid Loading과 Concentration의 관계그래프

거동의 차이점, 그리고 매립 면적의 비효율성 때문에 약 2.25의 증가 계수가 적용되나 기타 공사경험 및 주변 여건에 따라 가감될 수 있다.

$$A_d = \alpha \cdot A$$

5.3 가토제 높이 산정

준설작업 완료시 준설토의 두께(H_{dm})는 준설작업 완료시 가토제 내 준설토의 체적(V)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H_{dm} = V/A_d$$

$$V = V_i + \Delta V + V_{sd}$$

여기서, V_i = 세립토의 원지반에서의 체적

ΔV = 세립 준설토의 체적 변화량

$$= V_i \cdot \{(e_o - e_i) / (1 + e_i)\}$$

e_o = 준설작업 완료시 가토제 내에 쌓여있는 세립토의 평균간극비

e_i = 원지반 세립토의 간극비

V_{sd} = 조립토량 (원지반과 1:1로 계산)

가토제 높이(D)는 준설작업 완료시 준설토의 두께에 세립자의 침강에 필요한 깊이 (Ponding Depth) 와 여유고 (Free Board)를 더하여 결정한다.

$$D = H_{dm} + H_{pd} + H_{fb}$$

여기서, H_{pd} = 평균 Ponding Depth (최소 2 ft)

H_{fb} = 여유고 (최소 2 ft)

6. 맺음말

준설토를 이용한 매립은 매립재의 특성상 가토제 축조가 선행되어야 하는데 가토제 규모 결정을 위해서는 준설토사의 물량과 특성치, 준설선의 작업능력 및 작업시 평균 입자함유율, 침강시험 결과가 필요하며 이들 자료로부터 가토제 규모를 결정할 수 있다.

최근에는 환경 오염에 대한 관심이 커져, 배출수의 부유 입자함유율이 허용치를 초과하지 않도록 해야 하므로 Weir의 배치 및 관리에도 세심한 주의를 요한다.

[참고문헌]

1. US Army Corps of Engineers(1987), "Confined Disposal of Dredged Material"
2. 한국지반공학회(2004), "준설매립", 지반공학 시리즈 10 pp, 298-307.
3. Department of the Navy(1982), "Naval Facilities Engineering Command Design Manual7."